A Journey in Search of Modern Marvels

A NEW MAP OF WONDERS

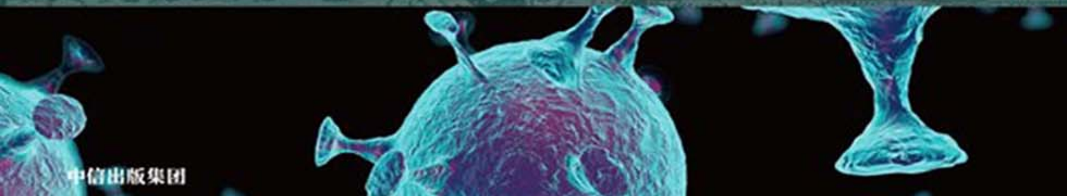
[英]卡斯珀·亨德森_著
（Caspar Henderson）
安霖_译

奇迹地图





你从未正确感受过这个世界，
直到海水在你的血管里流动，
直到你以夜空为衣，
而满天的星辰点缀成你的冠冕。



中信出版集团

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

A NEW MAP OF WONDERS

A Journey in Search of Modern Marvels

[英]卡斯珀·亨德森_著
（Caspar Henderson）
安霖_译

奇迹地图

你从未正确感受过这个世界，
直到海水在你的血管里流动，
直到你以夜空为衣，
而满天的星辰点缀成你的冠冕。

中信出版集团

版权信息

书名:奇迹地图

作者:[英]卡斯珀·亨德森

译者:安霖

ISBN:9787521704792

中信出版集团制作发行

版权所有·侵权必究

我们寻求外部的奇迹，并把它们保留在我们的内心。

——托马斯·布朗（Thomas Browne）

我的好奇心致力于追求幸福，没有位置留给害怕。

——约翰·克莱尔（John Clare）

没人知道（自然）怎么会是这样的。

——理查德·费曼（Richard Feynman）

他买了一张巨大的航海图，
上面干干净净没有一寸土，
船员们发现他们全能看懂，
他们的欢喜真是难以形容。[注]

——刘易斯·卡罗尔（《猎鲨记》）

1. 译文选自译言、古登堡计划《西尔维和布鲁诺》，张坤坤、钟毓欣、莫昕译。——编者注

引言

庆祝。好的，但是庆祝什么？

弗里德里希·赫尔德林（Friedrich HÖlderlin）

为什么，为什么我们有……这种甜蜜快乐的感觉？

伊丽莎白·毕晓普（Elizabeth Bishop）

在初春的某个早晨，我带着年幼的女儿来到楼下，发现厨房的天花板上有一汪明亮的光池。一开始，我无法对这奇怪的现象做出解释，它摇曳着，变了形，有时短暂地暗下来。慢慢地，我明白了这是怎么一回事。原来，被云层遮蔽了许多天的太阳露了出来，上升到足够的高度，照亮了朝向它的一座建筑物的窗户。窗户反射的光线穿过一棵树摇动的枝丫，落到另一个反射面上形成一定角度，使得树枝的光影透过我们家厨房的窗户跃上了天花板。

有时候需要极端或者不同寻常的环境，才能使平凡的事物变得奇妙。例如，曾经被关押于韩国军事监狱的诗人高银，在自己牢房的墙上看见一块邮票大小的光斑，尽管他当时性命朝不保夕，但这束光也足以让他重燃希望，相信奇迹。但是那天早晨，我没有遇到什么极端情况，我不担心自己的生命，我也不是在有什么惊人美景或异国情调的地方。我忘了是哪天，可能是个极其普通的周二工作日，或者周三，又或者其他什么日子。但不管怎么说，时间、地点或者这一现象似乎都没有什么特别的。可谁在看到墙上斑驳的光点的时候，不曾好奇这效果是如何产生的呢？和我居住于同一气候带的人，看到连日阴雨后的阳光，谁不会觉得开心雀跃呢？

不过，我的这种仿佛自己被完全唤醒的奇妙感受是个特例。说起来有点儿理科生的死理性范儿，我知道，如此优雅、如此生动的光影戏法是上亿千米之外的热核爆炸产生的以万亿计的光子（光的粒子）创造出来的。而且，我还知道这些光子只是每秒钟以超乎任何人想象的速度无声地倾泻在地球上的海量光子中的一小部分。就像高银在另一首诗里写的那样：“我凝视着万物无形的运动。”

那天早上，我女儿在我身边令我格外开心。她当时只有5岁，那束光对于她来说，可能并不会比5岁孩子在任何一个星期看到的，从邮递员到炸鱼薯条等等的人或事物更重要。但她看见自己的父亲在笑，认为一定有什么

有趣的事，所以也跟着笑了。因此，这种感觉里还包含了爱，美妙的爱。但这并不是全部内容。

思考奇迹

在厨房的经历使我思考奇迹本身，包括什么带来了它，我们如何体验到它，它为何如此难以捉摸，如何被那么多种方式所毁灭，又如何传授意义、成为建构美好人生的一部分。我认为这一切都值得探索，便创作了《奇迹地图》这本书。

本书从哲学、历史、艺术、宗教、科学和技术的角度，探寻如何更好地了解让我们惊奇的事物和奇迹的本质。我没有特殊的专业知识，也没有其他的资质，只有好奇心和倔强的个性。但我同意塞缪尔·约翰逊（Samuel Johnson）所说的："如果做事的首要条件是克服所有异议，那就没人会去尝试了。"此外，尽管我已经遗漏掉许多内容（事实上，近乎是全部），但我仍尽我所能地保持严谨扎实且连贯清晰的阐释。由于书中探讨的各种不同奇迹在一定程度上都呈现为看似简单和平凡的时刻（就像我们在厨房中遇到的一样），因此，很多的奇迹都和现象的突现（emergence）联系在了一起。

> 要想探寻奇迹的意义，可以从这两本书开始：凯瑟琳·帕克（Katherine Park）的《奇迹与自然的秩序》（*Wonders and the Orders of Nature*）和理查德·霍姆斯（Richard Holmes）的《奇迹的年代》（*The Age of Wonder*）。

我会在之后的介绍中阐述更多关于"突现"的问题。但首先，我想就"奇迹"这个词在历史上的多种意义进行考察，并试图了解奇迹是如何同世界上的伟大工程相联系的。

《牛津意识指南》（*The Oxford Companion to Consciousness*）虽然在论及酒时提到奇迹，却没有收录"奇迹"的条目，这种编纂选择似乎给了我们一些暗示。一般标准的字典也没提供太多的帮助。对于"奇迹"（wonder）的典型解释是"令人震惊或深刻赞赏的事物"，"惊叹"（奇迹wonder的动词形式）则是人们凝视奇迹时候的状态。"震惊"（astonishment）一词来源于拉丁语的"雷鸣"，而"赞赏"（admiration）和"惊讶"（marvel）所来自的单词仅有"看"的意思。（单词"miracle"源自拉丁语"mirari"，表示对于某事物感到惊奇、惊叹和震惊，其最初的来源可能是原始印欧语中代表微笑和大笑的单词。）"奇迹"来源于古英语的wundor，但是wundor（及其古

日耳曼语词根Wundran）的来源尚不清楚。梭罗[注]认为它们都来自一个共同的词根wander，其他的人则认为来自wound一词，但这些词源仅仅是猜测。

更进一步的定义来自哲学家马丁·埃文斯（Martyn Evans）的描述。他回忆自己在夕阳下看到一棵白蜡树的经历，认为奇迹是：

> 一种态度的转变，对某件事物的关注突然加强，我们立即承认它们是重要的——它们的出现激发了我们的想象力，虽然我们并不能够完全理解它们，但是我们愿意花时间去更全面地理解它们。

在短篇小说《翁德尔》（*Undr*）中，豪尔赫·路易斯·博尔赫斯（Jorge Luis Bolges）让“奇迹”（wonder）成为乌尔诺人的诗歌中唯一的词——一个先于其他所有语言，并超越其他所有语言的词。拉尔夫·沃尔多·爱默生（Ralph Waldo Emerson）写道：“虽然我们的大部分词语的起源都被遗忘了，但每一个词最初都是天才的一笔，它们之所以得以流传，是因为那时，在第一批使用它的人心目中，它就是世界的象征。”

我认为这是我们感到惊奇时的一个重要组成部分，至少对于我来说是这样的。正如埃文斯所说，我们认识到或直觉感受到一些东西是重要或美丽的（也许来自它们潜在的结构或秩序），然后就会高度专注于它。

“想象是一种工具，通过削减它们，我们就可以理解这个拥有无限可能性的世界。”——迈克尔·刘易斯（Michael Lewis）

奇迹从何而来？它们在人类诞生之初就存在吗？或者它比这还要久远？几年前，在坦桑尼亚的贡贝河国家公园，有人观察到两只黑猩猩在日落时分别爬到山顶。在那里，它们互相打招呼，双手合十，坐在一起，看着太阳缓缓落下去，盯着昏暗的光看了很长时间。我们怎么理解这样的行为？灵长类动物学家珍·古道尔（Jane Goodall）有非常确定的结论，因为离那个地方不远处，她观察到其他黑猩猩在看瀑布，然后尽情地表演和跳舞。她说：

> 我不禁认为（这种行为）是由于惊叹而触发的，如我们见到奇迹时的感受一样。黑猩猩的大脑和我们的大脑那么相像。它们拥有和我们相

似，甚至和我们一样的情感……它们具有令人难以置信的智力，我们过去认为这种智力是人类独有的。所以为什么认为它们不能具有……某种对于自己以外的事物感到惊讶的精神（生活）呢？我认为黑猩猩拥有和我们一样的精神层面，只是它们不能分析它，也不能谈论它……这些情感被锁在它们的内心，它们唯一的表达方式就是以这种奇妙的节奏舞蹈。

“不合理的语言障碍破坏了大自然给我们的统一。猿和人类没有足够的时间独立进化出惊人相似的行为。”——弗兰斯·德瓦尔（Frans de Waal）

如果古道尔和其他研究者是正确的，那么我们和500万年前就存在的黑猩猩所拥有的共同的祖先，可能也会有同样的惊奇感。

到了5万~10万年前，现代人类已经开始制造复杂的工具和进行远距离的贸易了。为了做这些事情，他们需要语言，因此我们可以假设他们创造了故事。在至少4万年前，人们创作了有关动物和其他生物的雕塑和壁画，这在今天被广泛认为是伟大的艺术。没有人会质疑这些早期创造者的技艺，但我们怎么看待他们的情感和信仰呢？拿德国南部的一个山洞里发现的拇指长度的水鸟（也许是一只鸬鹚）雕塑来说吧，它已经有3万多年的历史了。它呈现出完美的流线形状，就像是在潜水时被抓住了一样。不列颠博物馆史前史的高级馆长吉尔·库克（Jill Cook）说，这可能是一种“连接宇宙的上、中、下世界的精神象征……或者，它也可能只是一只能填填肚子或者提供羽毛的猎物”。但再看看那些以人类或半人的形式存在的文物，从高度非写实的女性裸体到法国的肖韦洞穴中半鹿半人的“男巫士”和德国的霍伦施泰因–施塔德尔的狮子人。这些物件的制造者不仅观察和复制了许多现在看来是精密制作的东西，而且他们也是在创造。他们的情感与像保罗·克莱（Paul Klee）这样的艺术家的距离真的很遥远吗？克莱在1920年写道，“艺术并不描绘可见的东西，而是把不可见的东西创造出来”。他们的情感真的不包括奇迹吗？



对手的描绘在旧石器时代的艺术中很常见，手可能也是第一个被公认的人类外形。这些在阿根廷的圣克鲁斯省发现的图案，已经有**9 000~13 000**年的历史了

大约10 000年前，在农业文明的曙光中，一个能够用石头建造纪念碑的社会在今土耳其东南部的安纳托利亚蓬勃发展着。在哥贝克力山丘上，装饰着象形文字的高大的柱子被认为是神圣的象征，柱子上的浮雕描绘了各种各样的生物。距离哥贝克力不远处的内瓦里–乔里，是20世纪90年代一座大坝建设完成、开始蓄水之前在附近河岸上发现的被巨大石像包围着的圆形剧场遗址。其中一个雕塑描绘了一条蛇在一个男人的头上扭曲缠绕，另一个雕塑描绘了一只猛禽落在一对相拥的双胞胎身上。巨大的T形巨石的两侧刻有无脸的椭圆形人头和人的手臂。当人们坐在这些建筑物墙壁周围的长凳上时，这些造型就会赫然耸立在他们面前。那些看到这些造型的人会感到惊讶、害怕或产生其他什么感情吗？我们除了猜测别无他法，但是仪式和宗教的背景解释似乎是合理的：我们知道，在今天，这样的地方往往会增强尊崇、敬畏和惊叹的情感。“奇迹，”学者菲利普·费希尔（Philip Fisher）于1999年写道，“是一种解释意义上的‘中景’（middle distance）现象：超出了普通现象，但又不至于成为不合理的或无法解决的问题。”这代表了一个界限，不管从人的角度还是历史的角度，均“介于司空见惯的事情和超出认知、以至于就算看见也无法提及的事情之间”。由此

看来，奇迹是与对知识和智慧的热爱息息相关的。当然，这应该是不足为奇的。对柏拉图和亚里士多德来说，哲学的本质源于“thaumazein”，即惊奇。柏拉图写道：“哲学始于惊奇。”亚里士多德说：“由于惊奇，人们有了自己的起源，并且开始进行哲学思考。”

> “（在肖韦洞穴绘画的作者）观察并重新创造了动物脖子的挺立形态、嘴的造型，或臀部的力量，带有一种紧张感和控制感，我们可以在弗拉·菲利波·利比（Fra Filippo Lippi）、贝拉斯克斯（Velasquez）和布兰库希（Brancusi）的作品中找到类似的表现。”——约翰·伯杰（John Berger）

许多文化传统都以我们身处现代工业化国家的人称之为“惊奇感”的某种东西为荣，尽管这种惊奇可能与我们如今所说的“惊奇”有微妙的差异。虽然古代的惊奇不一定对获得更多的知识抱有敌意，但古代的惊奇确实比现代少了份求知若渴。例如，所谓“万物有灵论”的信奉者可能认同人类学家蒂姆·英戈尔德（Tim Ingold）所说的“以一种活着并接纳不断有新事物降生的世界的态度生活”。对他们来说，世界永恒的源泉在于“震惊而非惊讶”。瑜伽哲学认为，在认识到自己对世界的无知并对此感到惊奇的时候，就进入解放的境界。在李白、杜甫等中国诗人创作的古典诗作中，对于奇迹的关注并不是为了探寻更多的事实真相，而是被惊奇感所驱使（尽管这也容易引发忧郁的情绪和孤独感）。而在欧洲，20世纪的哲学家马丁·海德格尔（Martin Heidegger）认为，真正的好奇心，就是工业文明的工具理性态度的反面，后者把除人之外的一切都看作可消费的储备品。

在海德格尔看来，好奇心［他称为Erstaunen（德语：惊讶），与Verhaltenheit（德语：抑制）相对］可以揭示人或事物的朴素本质，而且能够激发我们维护美和世界的复杂性。我认为，这是一个很有吸引力的想法，可以对我们这个时代的伦理观提供价值方面的贡献（而非定义上的）。我们无须全然赞同海德格尔的思想——尤其是他灾难性的政治选择，而只是采用他对于真正的好奇心，和与之接近但并不完全相同的其他意识状态之间的区分。

世间的一切起源于惊讶和敬畏（海德格尔所说的Staunen和Bestaunen）。这种观点在前现代阶段和宗教思维中普遍存在，人们认为世界充满奥秘，神明或上帝是令人畏惧的。最典型的例子是《薄伽梵歌》和《希伯来圣经》，两者都大约在前4世纪写成。在《薄伽梵歌》的第二章中，黑天向阿周那传授神性知识，黑天的权威比一千个太阳加起来还要大，在他的威严面前，天空、地球和所有有限空间里的事物都因畏惧而发抖。在《希伯来圣经》中《约伯记》的38章至41章中，耶和华在旋风中对约伯发

话："我立大地根基的时候，你在哪里呢？……那时晨星一同歌唱，神的众子也都欢呼。海水冲出，如出胎胞，那时谁将他关闭呢？"（约伯当然没有回答）。相似地，《诗篇》也把耶和华放在了一个特殊的位置——亲眼见证了上帝在世上所行的迹象和预兆的人都会感受对上帝的敬畏和惧怕——上，并把他描绘成智慧的开端。

物理学家奥本海默广为人知地引用了《薄伽梵歌》里的一句话来回忆自己看到第一颗原子弹爆炸时候的感受："我成为死亡本身，成为世界的毁灭者。"更准确的翻译是："我是全能的，拥有能够摧毁一切的力量。"然而，《薄伽梵歌》传递的终极信息是关于欢愉的。

"愿全地都敬畏耶和华，愿世上的居民都惧怕他。"——《圣经·诗篇》，第33章

震惊和敬畏之情也普遍存在于18至19世纪欧洲的浪漫主义作品中。但在这个阶段，情感已经发生了改变。许多表现大自然的伟大作品中，描写在山川和瀑布前面的敬畏感更强调其美学意义，而非一种宗教体验。1756年，埃德蒙·伯克（Edmond Burke）在《论崇高与美丽概念起源的哲学探究》中将崇高描述为一种震惊的状态，"在这种状态中，所有（思想）都被某种程度的恐惧所中止"。他认为崇高感虽然让人觉得危险，但也会使人从中获得快乐。一座巨大的瀑布可以吞噬你，这一事实在某种程度上就是其吸引力之所在，因为当你面对它的时候，你也直面，并某种程度上掌控了自己的恐惧，这种感受会令你清晰地意识到自己正鲜活地存在着。

"（在英国，）他们不会给乞丐一（便士，却）愿意花十（便士）看一个死掉的印第安人。"

与崇高感完全不同的是人类对好奇心的典型反应。这种感觉（海德格尔称之为Verwunderung）的一个关键因素是新鲜感。我们产生好奇心的对象差别很大，可能是一项出众的技艺或者大胆的壮举，如用电锯进行杂耍表演；可能是单纯陌生的一个人或一件事，如莎士比亚戏剧《暴风雨》中，特林鸠罗见到卡利班后的第一个想法就是想办法把他弄回英格兰，让他表演来赚钱；可能是一些很多人都觉得怪诞或异常的东西，如1932年托德·布朗宁（Tod Browning）的《畸形人》（*Freaks*）电影中的象头人和小头人、互联网时代的丑角宝宝形象、五官像生殖器的小猪脸；可能是一些不完美但迷人的事情，如"这只河马宝宝因为海啸和它的家人分离，却和103

岁的乌龟成为好朋友”，这是我最喜欢的一类故事。但无论吸引好奇心的具体对象是什么，它们都不能吸引长久的关注。人们永远渴望新奇的东西，却很少有兴趣了解更深的意义。

和对新奇的渴望与迷恋相对的，是一种更加冷静的赞美（即海德格尔所说的Bewunderung）。在这种状态下，思维能力保持活跃，好奇者对于好奇对象则保持一定的情感距离。关于这种好奇形式，柏拉图和亚里士多德都有类似的描述。他们认为，好奇是哲学的开端，但不是哲学的目的，哲学的目的是通过理性改变人类的境况。这种观点在数学家和哲学家笛卡儿那里得到了延续，他在1649年写道，好奇是热情的第一阶段，也是一种独特的精神状态，这种状态不会伴随着自己的脉搏声和剧烈的心跳声。在笛卡儿看来，好奇是“一种突发的灵魂惊喜，使自身开始关注罕见且非凡的对象”。人们都喜欢好奇心，因为好奇心有助于我们关注对象本身是什么，而非该对象对我们有什么用，这引导我们获取科学知识。笛卡儿认为，一旦我们想要更深入地了解这个对象，我们就不再需要好奇心了。因此，它是一种工具，而非状态。这种好奇心从广义来看是科学革命（海德格尔质疑这一概念）的精神。史蒂文·约翰逊（Steven Johnson）在2017年出版的《奇境》（*Wonderland*）中则持乐观的看法，他认为，对新奇事物的喜爱和对乐趣的追求，加上冷静的分析，经常会带来重大的技术革新和社会进步，让人类受益。可编程计算机的灵感来源于自动演奏乐器；民主起源于酒馆和咖啡馆中平等的集会。

笛卡儿认为，除了好奇之外，热情还包含爱、恨、欲望、喜悦和悲伤。

科学的崛起

在早期现代欧洲，对知识的探索逐渐兴起，深刻地改变了人们对于好奇的看法。历史学家戴维·伍顿（David Wootton）将科学诞生前后受过良好教育的英国人进行了比较，借此阐明这种变化的本质。科学在当时被称作自然哲学，在英国的文化发展中发挥了重要作用。1600年，即伽利略用望远镜进行观察天空，令约翰·多恩（John Donne）写下“新哲学让人怀疑”这样的句子的10年前，一个受过良好教育的英国人相信魔法师和女巫真实存在，女巫可以召唤海上的风暴，让船沉没。他认为老鼠是在稻草堆中自发产生的。他曾经看到过独角兽的角，但没有看到过独角兽。他认为有一种药膏，涂在匕首刺伤的地方，就会治愈伤口，还相信当凶手出现在死者的尸体面前时，尸体就会流血。他认为植物的形状、颜色和质地都能揭示其药用价值。他认为把普通金属变成黄金是可能的。他相信彩虹是上帝的标

志，彗星则预示着邪恶。尽管当时距离哥白尼发表日心说已经过了60年，但他依然相信占星术，相信太阳绕着地球运转。他认为亚里士多德是最伟大的哲学家，而普林尼、盖伦和托勒密，这些古罗马人，分别是自然史、医学和天文学史上最伟大的权威。

而到了18世纪30年代，一个受过良好教育的英国人已经开始通过望远镜和显微镜观察宇宙和世界。他有一个摆钟和一个气压计（并且知道管子的末端处于真空状态）。他不认识哪个受过良好教育和被理性思想影响的人会相信魔法、女巫、炼金术或占星术。他知道独角兽是神话传说中的野兽。他不相信植物的形状或颜色能揭示它的药用价值。他不相信任何大到足以被肉眼看见的生物都是自发产生的。他不相信武器会受人控制自动运行，也不相信尸体在凶手出现时会流血以示指证。他知道彩虹是光的折射产生的，地球绕着太阳转，彗星对地球上的生命没有什么意义。他知道心脏实际是一个“泵”，他甚至可能在工作中见过蒸汽机。他认为自然哲学正在改变世界，而现代人在各个方面都已经超越了古人。

1712年，托马斯·纽科门（Thomas Newcomen）研发的空气蒸汽机已经开始从煤矿中抽水了。蒸汽机是人类技术史上的先驱。

这种新的思维方式——用伍顿的话来说就是“与感知实在进行的一种新的接触”——极大地增加了人类在面对自然时的力量和选择，也极大地减少了日常生活中的恐惧感。这种有时看起来有些冷漠的观点到今天也没有什么改变。正如20世纪物理学家理查德·费曼所说的那样：“人们对我说：‘你是在寻找物理学的终极法则吗？’不，我不是，我只是在发现更多关于这个世界的东西，如果真的有一个可以解释一切的简单的终极法则，那就是吧，这会是一个非常好的发现。如果我们发现这个世界就像一个有数百万层的洋葱，而我们已经厌倦了一层一层地剥开往里看，那也没办法，它就是这样……我对科学的兴趣，仅仅是想了解更多关于世界的知识。”

尽管费曼这么说，但无论是对于发现者还是追随其脚步的人来说，科学发现的过程都会带来巨大的喜悦。拿相对论来说，它是阿尔伯特·爱因斯坦通过他所说的“组合游戏”将两个曾经不相关的概念结合到一起而得出的。爱因斯坦假设，如果引力不是某种隔着一段距离作用于物体的神秘力量，而是像电磁场那样，就是空间本身呢？当代物理学家卡洛·罗韦利（Carlo Rovelli）描述了他在学生时代第一次理解爱因斯坦的突破时受到的情感冲击：

> 每隔一段时间，我都会从书上抬起眼，看看闪闪发光的大海：在我看

来，我实际看到的是爱因斯坦想象中的空间与时间的弯曲。这好像一种魔法：有一位朋友在我耳边低语着非比寻常的隐匿真相，突然揭开了现实的面纱，揭露了一套更简单却也更深邃的秩序。自从我们发现地球是圆的，像一个疯狂旋转的陀螺一样的时候，我们就已经明白了，现实并不像我们所看到的那样：每一次我们看到它的一个新的方面，都是一次深刻的情感体验——我们又揭开了一处的面纱。

暗面

科学和技术在我们的文化中与进步的观念密切相关。大多数发现和发展都受到了热情的欢迎，因为它们是迷人而令人兴奋的，或者说是因为它们扩展了可能性的范围，减小了不幸的范围。人们通常认为，科学是公正无私的。但它也有黑暗的一面，因为新的知识会带来权力和滥用权力的可能性。古希腊神话中，奇迹之神陶玛斯有一个女儿是美丽的彩虹女神伊里斯，而其他女儿则是哈比：破坏和死亡的残酷预言者。

> “因此，促使人类研究哲学的第一原则是好奇，而不是对其发现能带来什么好处的期望。这门科学（致力于）揭开隐种表象统一起来，研蔽的联系，把自然的各究者从事这项研究是因为它本身就是一种乐趣为获得其他许多乐趣的，而不是因为它能成手段。”——亚当·斯密（Adam Smith）

对于早期的现代欧洲人来说，美洲新大陆的发现令人震惊，可以说是引发科学革命的最初因素——尤其是因为它表明了世上确实存在古代人全然不知的新事物。但是，他们当中更深谋远虑的一些人意识到，这些发现往往伴随着灾难。1542年，巴尔托洛梅·德拉斯卡萨斯（Bartolomé de las Casas）写道：“美洲新大陆的发现让其他的奇迹都沉默了。”但在这简简单单一句话之后，随之而来的是足以写成一本书的原住民种族灭绝历史。美国的建国史是以许多种族的灭绝为代价的，其中许多的种族灭绝只有通过个别事件的记载才能发现，如美国原住民妇女遭受酷刑折磨致死，孩子们“为了公共娱乐”而兴致勃勃地在曼哈顿大街上把约80个人头当足球踢。

如今，科学技术将人类福祉的范围扩展到远超古人想象的程度，但是人类也制造出了可以在几秒钟内杀死上亿人的武器。爱因斯坦在20世纪中叶写道：“我们广受赞誉的技术和文明就像一个病态罪犯手中握着的斧头。”相比冷战时期，如今我们对于核战争的担心可能少了一些，但还有其他的灾难像幽灵一样围绕着我们。其中之一就是科学技术让我们扰乱和污染了我们赖以生存的生态系统。另一种担忧是，新技术在带来繁荣前景的同时，

可能实际上抑制了我们的自由和创造。20世纪50年代，奥尔德斯·赫胥黎（Aldous Huxley）曾警告说，药理学和洗脑教育总有一天会让人爱上被它们奴役。我们把药理学和洗脑教育换成糖、智能手机和海量虚假信息，就会发现他说的一点儿也没错。在我们全面认识到这种影响之前，智能系统就能读懂我们的情绪，甚至比我们自己更能预见我们的欲望。

美国成年人平均每周使用电子设备的时间是74小时，而且这个趋势还在上升。数以百万计的美国年轻人既没有工作也没有在找工作，而是整天如磐石般一动不动地坐在屏幕前。

忧郁

即使处于一个相对健康和安全的状态，坏情绪也几乎可以破坏一切。就我而言，当我想到我所做过的一些选择时（如果它们确实是我自己做出的选择的话），或者当我反思一个政治和经济体制的时候，我就变得不再好奇心旺盛。在这些时候，我不是在绝望的深渊里，就是处于边缘地带。然而，我很快会意识到，这些烦恼大多数都只是“第一世界的问题”，对于发展中国家和地区的人来说，事情则会更糟：就像一个笑话说的那样，“食物难吃，份量又少”注。糟糕的情绪终会散去，我也会尝试做一些积极的事情。爱默生说：“是梦想让我们做梦，幻想永无止境，生活由一系列的情绪组成，就像一串珠子，我们经过它们时，发现它们是多彩的透镜，把世界描绘成它们自己的颜色，表现它们自己的焦点。”

“目的虽有，却无路可循；我们称之为路的无非是踌躇。”——卡夫卡

感到沮丧的原因有很多，不少人都有过比我更糟糕的经历，出于各种不同的原因。许多此类境况在文学中都有出色的描写。“我要庄严地告诉你们：我曾多次想变成虫豸，”陀思妥耶夫斯基笔下的“地下室人”说，“在我心里，我会偷偷地啃噬、细咬、探索和吮吸自己，直到最后变成一种可耻的、恶魔般的甜蜜，最终又变成一种显而易见的极大快乐。”更加黑暗的描写出自卡夫卡的《变形记》，主角格里高尔变成了一只肮脏的大臭虫：这是一种对心理状态的隐喻和寓言式的表现。

“在我看来，有时我们从未习惯于在地球上生活，而生活只是一个伟大的、持续进行的、无法理解的错误。”——W. G. 西博尔德（W. G. Sebald）

现实生活可能会像书中描写的最糟糕的经历那样痛苦和丑陋。仅仅是认识到我们生活在一个动荡和不断变化的世界里，而且最终都会死，就已经很可怕了。对现实或想象中的轻蔑和不公正的愤怒，可以通过仇恨的思想、言论以及暴力行为来表达。而通过酗酒、滥用毒品、自我伤害或其他行为来克服空虚感或完全麻木自己的意识，这类做法也很普遍。

Ressentiment，是由哲学家瑟伦·克尔凯郭尔（Søren Kierkegaard）提出的一个术语，是一种由嫉妒和仇恨被压抑而产生的心理状态，这种心理状态是无法被满足的。作家阿尔贝·加缪（Albert Camus）把它描述个人预设的自己的软弱无为“自我沉醉——一能被困在自我封闭环境中产生的恶性分泌物”。

在现代欧洲的早期阶段，暗淡的情绪——失眠、易怒、焦虑和绝望被视为忧郁的症状，这被认为是由于过量的黑胆汁（4种假定的“体液”之一，另外3种是黄胆汁、黏液和血液）。忧郁使得哈姆雷特看到的苍穹不是一个被金黄色的火球点缀的庄严屋宇，而是污浊的瘴气的集合。忧郁这头野兽也赫然耸立在1621年罗伯特·伯顿的《忧郁的解剖》（*The Anatomy of Melancholy*）一书中。但对于文艺复兴时期的人文主义者来说，忧郁也有积极的一面。根据马尔西利奥·菲奇诺（Marsilio Ficino）的说法，忧郁与天赋有关，因此也与创造和改变的潜力有关。本书选取的阿尔布雷希特·丢勒（Albrecht Dürer）的版画《忧郁I》就是例证。

“我们的生活只是一种诱惑。谁能忍受它的痛苦？在顺境中，我们傲慢而刻薄，在逆境中我们沮丧，而不管命运如何，我们都是愚蠢且可悲的。”——罗伯特·伯顿

《忧郁I》自1514年创作以来，一直使得各式各样的人为之着迷。已经因为贫穷而变卖身家的威廉·布莱克（William Blake）还一直保留着这幅画的复制品。爱因斯坦家和弗洛伊德家的书房的墙上都有这幅画的复制品。

对于弗洛伊德来说，忧郁是“一种深层次的、痛苦的沮丧情绪，对外界失去兴趣，对爱的丧失，对所有活动的压抑，并将自我关怀降低到一个程度，在自我责备和自我报复中找寻话语权，在对惩罚的妄想中达到高潮”。

根据20世纪中期学者埃尔温·帕诺夫斯基（Erwin Panofsky）的经典描述，

画中的天使是两种截然不同的思想的化身：一种是四体液之一的忧郁，另一种是“文科七艺”之一的几何学。这幅画作代表了文艺复兴时期艺术家的精神，当时的人重视实践技能，同时也渴望美丽而抽象的数学理论。天体理论和永世理念令他们精神鼓舞，但同时也让他们深刻意识到自己作为人的天性中的弱点以及智力方面的限制。正因如此，这幅画在学术和艺术史上受到了极高的推崇且影响深远。就我来说，《忧郁I》吸引我的地方在于，它的意义绝非某一种阐释就能概括，它永远接受新的理解。以下是我的理解。

人们曾认为（现在仍有人这么认为）天使存在于上帝和人之间，效忠于上帝，有时会将信息传递给人类。丢勒创作的天使外形健美强壮，就像真实地存在于物质世界中，或者说至少是完全投身于物质世界的。画作中，黑暗的场景被月光照亮，但我们似乎并不处于诺斯替教信仰的造物主创造的噩梦般的世界里。带着画标题的奇怪的蝙蝠看起来很弱小，并不可怕，似乎一下就会飞走。它双翅形成的“横幅”上非正统的单词拼写是一个字谜，改变字母顺序后可以变成Limen Caelo，意为“通往天堂的大门”。

在作家艾伦·穆尔（Alan Moore）的小说《耶路撒冷》中，一帮大天使在北安普敦的一个昏暗的斯诺克大厅里为争夺人类灵魂而打着台球。

《忧郁I》的“I”的一种解释，是一系列作品中的第一幅。但如果是这样，我们并未看到其他的画作被创作出来或者流传下来。另一种解释认为“I”是指想象力，是三类天赋中的最低一级，第二级是理性，最高级是精神。还有一种解释，“I”指的是拉丁语中“去”的意思，而标题的意思大概是“走开吧，忧郁”。

不管这个天使在做什么，她都没有显示出放弃的神情。她的眼睛里没有沮丧，如果沮丧的话，她的眼睛就不会向上看。也许她发呆了片刻，脑子里在思索着什么，但很快，她就会用膝盖上的圆规继续起草绘制。她脚边的木工工具摆放得杂乱无章，但没有坏。她看起来像是在作坊里忙碌的人，而不是一个内心绝望的人。（要是丢勒同时代的列奥纳多·达·芬奇在他的笔记中透露出了什么信息的话，他的工作室想必也有点像这样。达·芬奇会是个精神昂扬的人，而非一个死气沉沉的人。）“忧郁与死欲无关，”W. G. 西博尔德写道，“它是一种抵抗形式。”



丢勒《忧郁I》，**1514**年

例如，列奥纳多的一篇题为《关于水的性质、重量和运动》的论文的提纲，列了15个不同的章节，包含了几十条关于水的现象的记录，每

一条都要求细致的观察，却没有结论，因为列奥纳多没有系统地探讨这些问题。

画面中央左侧天使凝视着的一个大的多面体看起来似乎是这个工作室的作品。这个现在被称作“丢勒多面体”的截角菱面体的意义引起了许多争论。它可能是画家试图构建一个新的阿基米德多面体（一个由两种或两种以上正多边形组成的对称多面体，且多面体的顶点都位于同一个外接球的球面上）的产物。如果真的是这个图形的话，那么这个像艺术家一样的天使无法成功，因为这个几何问题没有数学上的解决方法。

15世纪之初的前沿自然科学家都是几何学家，他们遵循柏拉图的观点，认为由一种多边形组成的正多面体，即柏拉图多面体，是物质的基石。四面体组成了火，立方体组成了大地，八面体组成了空气，二十面体组成了水，十二面体是以太（这是一种据说充满了天空的神秘物质）。当然，他们是错的，但是，正如物理学家弗兰克·维尔切克（Frank Wilczek）所说，他们的错误是有用的，因为他们激发了后人思考物质世界以有限种离散实体组成的可能性。粒子物理的标准模型，即核心理论，目前确定了有限的基本粒子的数量（到目前为止为17个），世间万物都是它们以各种方式结合在一起的。丢勒的天使可以看作是当今物理学家的先驱——寻求理解世界的基本构造，并且在这一过程中打开最深层面的操控之门，这不就是物理学家的工作吗？

现代物理学认为，基本粒子可分为两类：自旋为1/2的粒子，它们是构成宇宙的物质；自旋为0、1和2的粒子，它们产生物质之间的作用力。前一类中的两个粒子不能同时出现在同一个地方，但任一数量的后一类粒子都可以。基本粒子是量子场中的演生[注]现象，而这样的量子场反过来又被认为是从协变的量子场中与时空一起产生的。

《忧郁I》上还有其他许多元素，包括一个小天使、一条狗、一个沙漏、一台天平、一串铃铛和一束从天使的腰上垂下来的钥匙。值得注意的是炼金术的象征：一个坩埚坐落在多面体的左边的壁架上，一架有7个梯级的梯子——通常被解释为代表了炼金术系统的7种金属和行星——倚靠着一个延伸出画框的塔或瞭望台。天使的头的右后方有一组数字，构成了一个幻方——任何水平、竖直或主对角线上数字的总和始终相同的数字方格。（画作中数字的总和为34，这一幻方还有特殊的性质：正方形四角的4个2×2方格中的4个数总和，以及中间2×2方格中4个数的总和也等于34。）正方形底部中央的两个数字组成了这幅画的创作年代，即1514年。而这两个数字旁边的1和4分别对应字母表的第一个字母A和第四个字

母D，就是丢勒经常在自己的版画和画稿中的首字母签名。

那么，所有的这些设计意味着什么呢？也许丢勒在质疑“万物皆数”的观点（我们知道，这个观点最早由毕达哥拉斯提出）。或许他希望这幅画成为一个永远的谜，希望看到这幅画的人都能来思考，或许观赏者可以从中解开自己的疑惑。因为在通过作画将我们带入天使工作室中复杂、几乎令人痴迷的象征世界的同时，丢勒（他的名字意为“门的制造者”）也让我们能够看到并思考超越画中内容的事物。从帕拉塞尔苏斯（Paracelsus）到荣格（Jung），都认为炼金术与个体的成长密切相关，但是我更愿意将梯子解读为启蒙时代之前人们对科学方法的直觉感知，即一步步爬得越高，看到的范围就越大。我还从丢勒的幻方中看到了一个不朽的现世之谜：数学似乎存在一种“不合理的有效性”（正如20世纪物理学家尤金·维格纳所说的那样），它的概念的适用范围往往远远超出它们最初被提出时的适用范围。例如，为什么代表一个圆的圆周与其直径的比值π会出现在人口趋势的统计分析中，甚至还定义了精细结构常数、爱因斯坦场方程和代表有意义的最小可测长度的普朗克长度呢？最不可思议的是，宇宙似乎是用某种代码写成的，而这些代码能够一点一点地被破译出来。我们也许对究竟是什么决定了这些方程一无所知，但我们却发现自己已经置身于它们所描绘的世界中了。

爱因斯坦在数学方面不是特别有天赋，但是，像伽利略一样，他认识到数学拥有能够解释世界的力量。他写道：“世界上永远不可理解的东西，就是可理解性本身。”物理学家詹姆斯·哈特尔（James Hartle）对此做了一个简单的回应：“世界必须是可理解的，否则，像我们人类这样能够收集和利用信息的系统就不可能存在了。”

“宇宙为什么会存在？没有什么问题比这更崇高了。”——德里克·帕菲特（Derek Parfi）

《忧郁I》还产生了其他的共鸣，比如天使脚边的球体是古希腊人钟爱的“完美”对称形状，但在1514年，它有了新的意义。在20年前，哥伦布第一次航行到美洲，这似乎表明地球是一个球体，但也暗示了在地球表面上还有很多可以被发现的东西，比古人想象的要多。1493年，制造于丢勒的家乡纽伦堡的地球仪描绘了全世界的大陆，不过，地球仪上并没有美洲的位置，从里斯本向西一路直行，就到日本和中国了。相比之下，1525年的萨尔维亚蒂地图则初步描绘了新发现的美洲海岸的部分地区，但由于条件限制，这份地图上还有大片区域是空白的，需要继续探索。1510年，哥白尼出版了一本名为《纲要》（*Commentariolus*）的小册子，首次将地球从

宇宙中心的位置移开，而在几年之后，《忧郁I》便问世了。或许那个时代最有见地的艺术家之一，也是一位天文爱好者的丢勒，曾听人说起过这篇引起轰动的论文。

丢勒与两位专业天文学家合作，于1515年制作出了第一张星图版画，它描绘了南半球的天空，但留下大片空白……有待后世的人探索。

在《忧郁I》的左上角，有一幅“Weltlandschaft”（德语，意为世界风景），或更确切地说，是“Seelandschaft”（意为湖边风景），描绘了这个天使工作室之外的广阔世界。一个美丽的小镇坐落在一片大湖或平静的海洋的岸边，湖水（海水）一望无际——可以看作是保罗·克莱的《拉古嫩施塔特》（*Ragunenstadt*）的原型。水面上的弧线是一道月虹，是罕见的由夜晚月光形成的彩虹。月虹在非常特殊的情况下才会出现，最灵敏的“眼睛”才能捕捉到它表面上白光中的色彩（通常则需要比人眼更灵敏的照相机）。不管你能否看到月虹中的颜色，你都发现了罕见的体验光的新方式：阳光必须从月球反射到地球上，然后再经过水滴的折射和反射，再被敏锐的眼睛看到，因此这件事本身就蕴含着一个伟大的奇迹。画中的天空中还有一颗彗星，像1493年纽伦堡出版的伟大的编年史中记载的那颗一样。也许，对于丢勒来说，这颗彗星的意义是模棱两可的，并不一定是邪恶的预兆。毕竟，在丢勒生活的年代里经过地球上空的彗星并没有带来人们所担心的灾难。也许多一些质疑、少一些恐惧也不错，可以让人认识到自己的无知，而不是依靠权威来回答问题。

对我来说，《忧郁I》是通往奇迹的邀请函。天使可能心事重重，但有一个更深更广的世界召唤着她，有更多的事物等着她探索和欣赏。［“整个事情，”20世纪的作家和艺术家布鲁诺·舒尔茨（Bruno Schultz）在被残忍杀害的几年前写道，“以无限的可能性搏动着。”］天使拿着圆规正在绘制地图，这个地图可能以某种方式将她面前的这些神秘事物与更大的世界联系在一起，而艺术家本人也在鼓励我们做类似的事情。

奇迹的邀请函

本书尝试激发并分享我们的惊奇和好奇，但如何选择和组织我们关注的对象呢？一些来自伊斯兰黄金时代的作品令人叹为观止，为我们提供了一种可能的标准模式。例如，《科学的好奇心和眼见的奇观》（*Book of Curiosities of the Sciences and Marvels for the Eyes*）这本书结合了9至11世纪的天文学家、历史学家、学者和旅行者的手稿，编制了一系列惊人的天

体图和地球地图。1314年出版的《博学艺术的终极野心》（*The Ultimate Ambition in the Arts of Erudition*）也是相当出色的，书中提到许多类似要是一个人在犀牛的耳朵上撒尿，那么犀牛就会逃跑这样的事情，为人们的思考提供了空间。再看看欧洲，约1550年在奥格斯堡出版的《奇迹标志之书》（*The Book of Miraculous Signs*）中包含了许多奇异气象事件和被认为是启示录的奇异现象的华丽插图。如果你有很多年的时间和一支彩饰书稿绘制团队，并习惯于奇幻思维（忽略掉大卫·休谟关于奇迹的观点），也能创作出一本像这些书一样精美的著作。但如果没有上述条件，你就不得不遵循一些相对简单的原则。

休谟总体上认为，自然法则是不变的，人的证言是不可靠的。

一个合理的例证是数学家兼赌徒吉罗拉莫·卡尔达诺（Girolamo Caldano）1557年出版的《论事物的多样性》（*De Rrerum Varietate*）。书中根据具体的地点（“陆地的奇观”“水的奇观”等）和卡尔达诺所判断的它们的规模来划分奇观。比如说，在麦哲伦海峡上方出现的“蓝云”属于真正奇妙的一类，而墨西哥的徒步者则属于“值得惊奇的事，却不是伟大的奇迹”。

卡尔达诺是一个聪明的博学者，但经常缺钱，他对赌债的争议据说有时会以刀战结束。他1564年出版的《论赌博游戏》（*Liber de Ludo Aleae*）是欧洲数学中第论一部系统讨论了概率的著。据说他生前预测了自己的死亡日期，并确保了预言成真——他在当天自杀了。

我采用的是两个组织原则。首先，我沿用了“七大奇迹”的这样的旧观念。这或许是个老套的方法，但它确实具有易于管理的优点，而且它至少在刘易斯·托马斯（Lewis Thomas）医生的一篇短文中得到了很好的应用。第二，我通过运用“演生”的原理——这一过程使新的性质和行为从简单的部分结合中孕育出来——将这七大奇迹联系在一起。在本书中，第1章中讨论的相对简单的现象在第2章的奇迹出现的过程中起了作用，以此类推。

托马斯在20世纪80年代初写的一篇文章中创造了七大奇迹，把最伟大的奇迹放在最后，这七大奇迹分别是：

1.在深海热液喷口疯狂繁殖的细菌；

2.旋枝天牛，一种生活在含羞草树中的甲虫；

3. 痒病病毒；

4. 嗅觉受体细胞；

5. 白蚁；

6. 任何人类儿童；

7.被视为一个生命系统的世界。

如果可以的话，我会走遍天涯海角，然后绘制一张奇迹地图，就像1904年乔治·梅里爱（Georges Méliès）导演的《不可能的航行》（*The Impossible Voyage*）中的非相关地理研究所的工程师马布洛夫所做的那样。然而，我的预算很少，最多只能支撑我离开家一个星期。因此，我在很大程度上被迫去探索附近的奇迹——图书馆、实验室，有时也去森林或海边，而非我梦想中的远方。但在附近我未了解的地方，我有时也瞥见了一些类似托马斯·特拉赫恩（Thomas Traherne）所说的“奇怪而又普通、难以置信却又为众人所知、最崇高的却又是平凡的、无价的但又不被重视的东西”。即使是最伟大的奇迹也与我厨房里的一个小物件有千丝万缕的联系——从这个意义上讲，这本书不过是花了点儿小心思创作出来的。

路德维希·维特根斯坦（Ludwig Wittgenstein）听了史蒂夫·赖希（Steve Reich）创作的一段非凡的音乐作品之后感叹道“一个人一生的想法是多么渺小”，这条评论就像这部作品的标题“谚语”（Proverb）一样简短但发人深省。

本书章节的大致脉络如下。第1章是关于光的，光是宇宙的基本现象之一，是其他事物的开端。本章将以彩虹、太阳和各种黑暗为例来阐释什么是光，以及我们是如何看待光的。第2章探讨了生命的起源以及由此产生的物质世界，并且简单地讨论了让生活变得惊人的众多事物中的一小部分。第3章聚焦于人的心脏，它的跳动是我们短暂而有弹性的身体存在的一个不可忽视的提醒。第4章是关于大脑的，从7个方面探讨了这个可能是宇宙中最复杂的单一物体。第5章追溯了人类生命的轨迹——我们可以把生命看成一种从心和脑（包括其他部位）的持续运转中产生的现象。本章把生命分为三个年龄段：青年、成年和老年（中世纪和近代早期则把一生分为7个阶段），从而探索了人在一生中都会经历怎样的奇迹，以及经历奇迹的方式又是如何改变的。第6章是关于我们在世界上发现的奇迹，思考世界如何塑造我们，以及我们如何通过地图和梦想塑造它。第7章涉及一些正在改变世界和人类经验的技术，它们也改变了我们对美好的看法。该章着眼于奇迹的未来，将思考在如今，世界日益受到人类的操纵或滥用的情况下，奇迹在未来会有何变化，同时探讨了未来将发生哪些奇迹。本书最后还有一个后记，回顾了我们所跨越的领域。

> “有两样东西，人们越是经常持久地对之凝神思索，它们就越是使内心充满常新而日增的惊奇和敬畏：我头上的星空和我心中的道德律。前一种观点中，无数的（恒星）消灭了……我作为一个动物性被造物的重要性，被赋予短时间的生命力之后，又不得不把它曾由以形成的那种物质还回给这个（只是宇宙中的一个点的星球）。反之，后面这一景象则把我的作为一个理智者的价值通过我的人格无限地提升了。”——伊曼纽尔·康德（Immanuel Kant）

《奇迹地图》中记录了许多科学上的发现，但这不代表我相信科学知识就是我们所需要的全部。我没有这么想。改写一下康德1788年出版的《实践理性批判》中的一段著名文本，即有两件事让我感到惊奇和忧虑：作为我们存在基础的自然世界，以及人类对它和对其他人类的所作所为。目前，有许多重要的事情，科学是无法提供指导的，包括许多（但不是全部）关于我们应该重视什么和为什么重视它们的问题。有人提出警告，新技术（既作为一种表达方式，也代表科学突破的源泉）会削弱我们的存在，这种警告我们应该认真考虑。但是，最应该受到责备的，往往是新技术的使用，而不是技术本身。明智地运用科学技术可以消除各种错误，扩大可能的疆界，包括我们遇到的各种奇迹和奇妙的经历。如果我们真的要帮助众生万物繁荣发展的话，科学和技术是可以做到的。

> 试想一下历史学家斯文·贝克特（Sven Beckert）所说的“战争资本主义”：“如果我们所谓的新的全球化时代真的是对过去的革命性背离，那么这一背离也不是指全球联系的程度，而是指资本家第一次能够从特定的民族国家中解放自己的事实。

探索永无止境。知识是暂时的、开放性的和不完善的，并且很可能一直如此。例如，数学中可证明的命题是无穷多的。“我们观察到的，”维尔纳·海森堡（Werner Heisenberg）说，“不是自然本身，而是自然在我们的提问方法下暴露出的那一面。”而梭罗总是能触及事情的核心，他写道，更高的知识只不过是“一种新奇而宏大的惊喜，突然揭示了我们以前所称为的知识的不充分性”。因此，我们所能达到的最高境界“不是知识，而是对智慧的赞同”。我认为这表明，最伟大的奇迹是以爱和智慧来认出在我们面前的究竟是什么。“它与理解无关，”诗人W. S. 默温（W. S. Merwin）说，“这关乎我们的生命，我们唯一的生命。”

> “我们永远处于无穷的起点，就像我们处于无限的无知中一样。”——戴维·多伊奇（David Deutsch）

本书不是一张字面意义上的地图，虽然它确实包含了一些地图方面的内容。作为一部“奇迹学”论著，或文字记载的奇迹，这本书远远称不上全面。本书旨在尽我所能地见证一些奇迹，以更好地了解这些奇迹的规模，以及它们究竟在何处，即认识它们。我希望读者能根据我建议的一些方向来寻找更多的奇迹。

> 安妮·迪拉德（Annie Dillard）在写作回忆录中引用了梭罗的话：“年轻人搜集材料去建一座通往月亮的桥，或者在地球上建一座宫殿或寺庙，中年人充其量决定造个木屋栖身。”

当我们在智力和情感上高度投入时，奇迹就会发生。它可以把我们带到恐怖的边缘，或者把不可预知的和奇怪的力量带到我们的面前，却不会让我们觉得那是一种威胁。它就像浮力（亚里士多德认为是与重力相反的一种神秘力量）一样令人振奋。像一个好的笑话一样，它能用最少的字数说出需要说的话。好奇开辟了新的可能性——导演维尔纳·赫尔佐克（Werner Herzog）曾建议电影制作人都随身必备一把螺丝割刀，而好奇就相当于一把心理上的螺丝割刀。奇迹能让人感觉理解了一些更大更好的东西，我们在这一刻都身处其中。奇迹给人的感觉就像发现一样，或者至少是通往发现的旅程的第一步。奇迹给人的感觉像是回归或复苏——一种万物各得其所的感觉。奇迹是感觉充实，或是一个好的开始。这种精神状态类似于我们收到了一件礼物，我们可能不明白它的意义，但我们清楚它的重要性。这就是一种恩赐。

---

1. 亨利·戴维·梭罗（Henry David Thoreau），美国作家、哲学家，最有名的代表作品是《瓦尔登湖》。
2. 这种表达出自伍迪·艾伦（Woody Allen）导演的喜剧片《安妮·霍尔》（*Annie Hall*），影片开头讲了这样一个笑话：两个老太太在卡茨基尔山度假酒店，其中一个说：“这儿的食物真难吃！”另一个说：“是啊，份量又小！”
3. 英文版原文为“emergence”，又译“涌现”“突现”“呈展”等，著名华人科学家、量子多体理论专家文小刚把它译为“演生”。该词在本书中多次出现，具体中文译法依语境灵活处理。

第1章
彩虹和星星——光

物体变为光，光变为物体，是非常顺应自然的过程，因为自然本就乐见演变。

艾萨克·牛顿（Isaac Newton）

“是的，我有一双眼睛，”山姆答道，“但这只是一双眼睛。如果它们是两只上等的二百万倍的扩大力特别大的气体显微镜，或许我可以看穿一段楼梯和一扇枞木门；不过它们只是你所看见的这两只眼睛，所以我的眼界是有限的。”

查尔斯·狄更斯（Charles Dickens）

1962年2月的一个早晨，美国海军陆战队上校约翰·格伦（John Glenn）挤进了火箭顶上的一座太空舱，向上飞了超过100千米，在近5小时内绕地球轨道飞行了3圈，最后，在万有引力之虹的牵引下落入大西洋，安全着陆。

在格伦飞行的那5个小时里，他经历了“三天三夜”。第一天，在卡纳维拉尔角发射了大约40分钟以后，他被带到了加那利群岛和尼日利亚的卡诺的上空，然后他看到太阳落在了非洲另一边的印度洋上。他说黄昏是美丽的。太空中的天空很黑，地平线上有一条蓝色的薄带。太阳落山了，虽然没有他预料的那么快。明亮的橙色和蓝色的云层在太阳的两侧展开，逐渐向地平线延伸。他到达珀斯附近的澳大利亚海岸上空的时候已经是晚上了。在太平洋上空，他正在迎接他的第一个黎明的到来。

当太阳从位于斐济和夏威夷之间的菲尼克斯群岛的坎顿环礁上升起时，格伦报告说，在太空舱外有上千个发光的小球体。“我从没见过这样的东西……它们朝着太空舱移动，看起来像小星星。它们一簇簇地涌来，它们绕着太空舱旋转，来到窗前，灯火通明。”对格伦来说，这是他这次飞行中最动人的经历之一。然后这些球体的景象消失了，因为他的飞船驶入了阳光下。格伦是一个虔诚的教徒，那些如天使般的小球在这之后很长一段时间都萦绕在他的心头。

美国航空航天局（NASA）后来证实，那些球体是格伦的尿液，从太空船排出后冻结成了完美的球形液滴。基于这一发现，人们很容易嘲笑他那些矫揉造作的幻想。美国整个太空计划在头几年里雇用了几十万人，耗费了联邦政府预算的相当大一部分，这样庞大的计划，在很大程度上，是为了和苏联竞赛。但是，惊奇和幽默并不是相互排斥的，而那些圆球显然属于一种奇妙的景象，无论它们的起源是多么微不足道。与现在环绕地球运行的一圈人造垃圾相比，它们甚至有一种温和的纯净感，而格伦在地球上方以28 000千米每小时（或7 843米每秒）的速度沿弧线飞行的奇迹感一点儿也不亚于它。

速度

无论是在近地轨道上，还是在墙上斑驳的阴影中，许多与光有关的现象都引起了人们深刻的惊叹。对其性质的讨论往往同神秘事物和宗教相联系，尤其是在西方文化中，例如《创世记》的开篇。但我将从一个粗暴的事实——同时也是一个谜——光速开始讲述。

不像一阵风或最快的箭，光似乎已经无处不在，不需时间就能到达任何地方。根据常识，这似乎表明它的速度是无限的。从远古时代起，就有一些思想家质疑了这种观点，但从17世纪开始，才有试图证明事实并非如此的相关记录。伽利略建议在夜间把一盏灯笼放在一个足够远的山坡上，在某个特定的时刻揭开它，并试图测量在一定距离之外观测到揭开灯笼所需的时间。实验结果只表明光肯定非常快。后来，有人发现了一种测量光速的方法，不过却是来自另一个完全不同目的的观察。

> 如果光速真的是无限的，粒子和它们所携带的信息会瞬间从A移动到B，这样，结果不再位于原因之后，一切都会同时发生。那么，宇宙将没有历史，也没有未来，而我们所理解的时间也将消失。

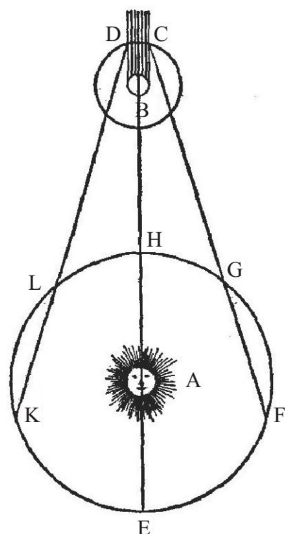
1610年，伽利略用望远镜在木星周围发现了4颗明亮的大卫星，像海中帆船的灯笼一样悬挂于平静的夜空中，围绕着木星旋转。这是一个重大的发现：它以令人信服的证据表明，并非所有的天体都环绕地球旋转，并对教会的教义提出了挑战。不过，伽利略认为，这一发现也是有实际应用的。他认为，木星的卫星的规律运动可以作为天空中的一种时钟。世界上任何地方的航海家和地图绘制者理应能够观察到卫星现踪或消踪于木星背后的时刻，并将这些“木卫食”发生的当地太阳时与已知经度的地方的标准时进行比较。根据时间的差异，他们应该能够计算出自己的相对经度。

事实上，木星的卫星不全是冰冷的天体。与我们的月球一样大小的木卫一，表面与珠穆朗玛峰一般高的火山星罗棋布，是太阳系中最活跃的火山体。土卫二，这个伽利略时代还没有被发现的土星的小卫星，会从冰壳中涌出喷泉。

这个想法相当合理。2016年朱诺号（Juno）太空探测器接近木星时拍摄到的画面确实显示，它的卫星像天上时钟的指针一样绕着木星旋转。但是，事实证明，把这个想法变成现实，是17世纪的测量技术无法完成的。而在伽利略后一代，有一位在巴黎天文台工作的天文学家奥勒·罗默（Ole Rømer）进行了尝试，他搜集了大量关于木星最内层的卫星——木卫一运动的数据，发现了一个奇怪的现象。当地球离木星最近的时候，木卫一（大约每42.5个小时就绕着木星转一圈）的木卫食比预计的要早11分钟。6个月后，当地球离木星最远的时候，木卫食发生的时间比预计的晚了11分钟。罗默知道，木卫一绕着木星旋转花费的时间和木星与地球的相对位置无关，并且意识到这种时间的差异一定是因为光传播的速度是有限的：当这两颗行星分别在太阳的两面时，木食光从木星到达地球的时间要比木星与地球在太阳的同一面时的时间长22分钟。确定光速的简单方法就是把地球轨道的直径除以这个时间差。

罗默做了这么一个实验。1676年，他计算出光的速度为每秒210 000千米。我们现在知道，他的计算结果偏低了（光的真实速度接近每秒300 000千米），因为他算错了木卫食的最大时间延迟和地球绕太阳轨道的直径。但罗默的结果也是惊人的：他证明了光的速度是有限的（虽然惊人地快），我们可以通过实验将它测出来。

即使是现在，光的速度仍然难以想象的。在1982年的一篇文章中，安妮·迪拉德描写了她看到日食的场景。在太阳出来之前，墙一般的阴影遮住了她和她同伴所在的那座山。这片阴影飞快地侵入山谷，猛烈地“撞击”着山，仿佛要把他们击倒：“月亮的巨型影子像怪兽一样迅疾移动。”迪拉德后来得知月亮的影子以1 800英里每小时（约2 900千米每小时）的速度在移动，她表示，这是难以言喻的速度感。然而，这种可怕的速度——几乎是空气中声音速度的2.5倍——也只有光速的百万分之一量级。



在罗默的示意图中，当木卫一在**C**和**D**的位置之间时，太阳照射于木星（**B**点）会产生木卫食，当地球在围绕着太阳（**A**点）的轨道上到达**L**或**G**位置时，木卫一进入与离开**CD**区域时发出的光到达地球所需的时间，比地球处于**F**或**K**位置时更短

想象一下，百米短跑的起跑线上，一名运动员可能会用约1/7秒的时间来对发令枪做出反应。等运动员开始跑的时候，发令枪的枪声已经跑了差不多50米了。而这把发令枪发出的火光已经行进了几万千米，相当于绕地球一圈。如果光的粒子（称为“光子”）可以像我们之后会提到的另一种陌生粒子一样不减速地穿过地球，它径直穿过地球只需要大约0.04秒的时间，而这段时间甚至不够让蜂鸟扇两次翅膀。

光是什么？

光的本质用几句话就能概括出来，可问题是，这样的定义背后的词和概念是日常经验所遥不可及的，也是非专业人士难以理解的。例如，我可以说，可见光是电磁波谱中的一个极其微小的部分，这种自传播的电磁场的横向振荡波能够穿过完全的真空。我还可以说，光是由称为光子的粒子构成的，光子是可以传输的最小能量，它是宇宙中已知的4种基本力之一的电磁力（另外3种分别是引力、强相互作用和弱相互作用）的载体。

“光子是电磁场中最小的扰动。量子理论（认为）：能量由一份一份

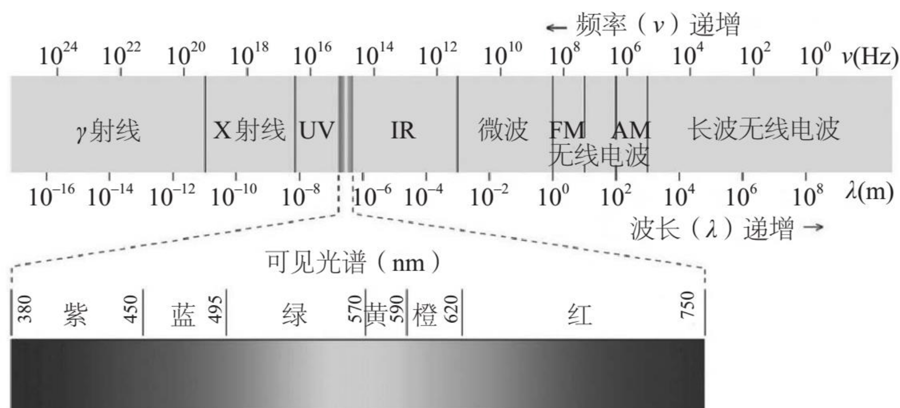
的离散单元或量子组成。它们无法被进一步分解，因此有了类似粒子的整体性，在某些情况下，我们将它们看作粒子，这对于研究它们很有帮助。从这个意义上说，光子就是光的粒子。”——弗兰克·维尔切克

如果这些你听起来无法理解，那么下面的内容就更难理解了。光子（光的粒子）没有质量，也没有电荷，但带电粒子（如电子或质子）之间发生相互作用时会交换光子。光子无法静止存在，只能发生转变。而且，由于我们尚未完全理解的原因，它们运动的速度是所有物体运动速度的最高极限。

强相互作用将质子和中子结合在一起，形成原子核。弱相互作用是放射性衰变和核裂变发生的原因。

当你第一次听到光是由粒子构成的时候，可能会问：它们有多大呢？然而，对于这个问题，我们并没有确切的答案，因为“粒子”的称呼并非全然正确。在物理学中，许多我们基于对世界的感知而产生的常识性观念并不总是正确的。事实上，很多肉眼可见的东西也是不符合常识的。比如说月球是一块重达7.3×10^{19}吨的固体岩石，但没有从天上掉下来，这就是一个例子。英国的公共洗手间里的冷热水龙头至今一直是分开的则是另一个例子。光子和其他我们可以轻易想象的东西都不一样，它有时会表现得像粒子，有时却像波浪一样。

如果你非要问光子究竟有多大，一些物理学家（可能是因为想赶紧摆脱你的纠缠）会告诉你，一种测量光子大小的方法是测量它的波长。那么，它有多大呢？答案是，对于可见光，它的范围是介于紫光的约400纳米和红光的约700纳米之间。1纳米（缩写nm）是10^{-9}米，这个长度也很难理解。但你可以这么想：把你的小拇指的最后一节想象成一个典型的房间，其中大约10亿个细胞排列起来的长度大概相当于房间中的一粒米的长度。可见光谱中绿光（大约550 nm）的波长大约是每粒米长度的1/20。



可见光是电磁波谱的一部分

但是电磁波的波长比可见光波长的范围宽得多，所以光子可以比这个长度要“大”得多或者“小”得多。伽马射线的波长要以皮米——10^{-12}米来计，大约只有原子的直径的千分之一（一粒盐包含大约100亿亿，即10^{18}个原子，大约是银河系恒星数量的1 000万倍。）与此相反，用于加热食物的微波炉中微波的波长大概与一个葡萄柚的直径差不多（注意：请不要微波加热葡萄柚），无线电波的波长可以取从几米到几千米长的任何长度。

光和视力

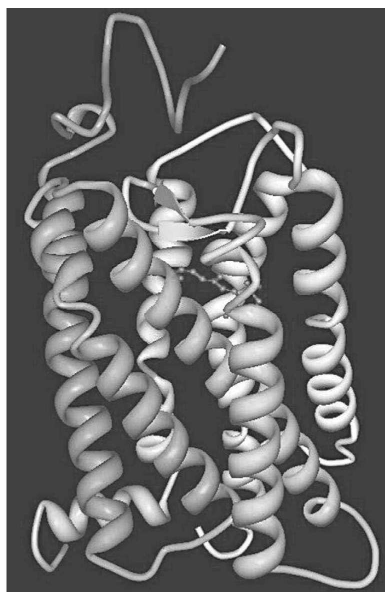
光的存在是一个意义深远的奇迹，我们能看到它，同样也是一个奇迹。可见光范围内的光子是我们祖先进化到现在能够直接看到的唯一的基本粒子。我们之所以能看到可见光波长范围的光——正是它们创造了这个世界的所有的颜色和阴影，很大程度上是因为到达地球表面的大部分阳光（包括透过水面照射到水底）的频率有关。如果我们能看到光谱其他部分的电磁波，那么世界看起来就会完全不一样了。用伽马射线看的话，月球会比太阳更亮。用X光看世界，就像置身于墨西哥的亡灵节中，所有人一丝不挂，身体透明，只用骨架起舞。

关于我们如何看到事物，背后的科学机制是非常复杂的，直到如今，科学家也只理解了一部分。人类的大脑（可能是已知宇宙中最复杂的单个事物）有一块格外重要的区域专门处理进入我们眼睛的光。不过，眼睛工作的一些基本原理可以用几段简短的文字来说明。

光经过瞳孔和晶状体，投射到视网膜上，视网膜上排列着被称为视杆细胞和视锥细胞的感光细胞。这些细胞就像盒子里的铅笔一样排列在一起，用

末端（视杆细胞比较平坦，而视锥细胞比较尖锐）对着光。每个视网膜有约1.2亿个视杆细胞和600万~700万个视锥细胞。对光照强度较为敏感的视杆细胞主要分布在视网膜的外围区域，而对颜色较为敏感的视锥细胞主要分布于视网膜中部。

每个视杆细胞含有大约10亿个被称为视紫红质的分子。这是一种对光敏感的蛋白质，堆叠在朝向光的透明板上。单个光子的撞击就足以改变这些神奇分子的中心部分（被称作“生色团”）的形状，从而通过中间分子产生了一系列的级联反应，将原始信号放大成百上千倍。不久前，人们还认为至少要有7个光子同时撞击视杆细胞才能产生一个足够强的信号使大脑感应到光的存在，但实验表明，有些人只需要一个光子就能感应到光。实验对象们把这种感觉描述为“几乎是一种感觉，接近于想象”。不管怎么说，我们的眼睛是非常敏感的，通过视觉系统的调节，我们只靠星光就可以在黑夜中前行。而且，我们的视觉系统也足够稳健，可以让我们在比星光亮100亿倍的日光下辨别物体。照在墙上反射出的斑驳的日光，其强度属于我们视力范围的中心区域。



视紫红质

在视网膜中央，约占其总面积的百分之一，是一个杯形的凹陷区，叫中央凹，约有罂粟籽那么宽。中央凹上排列着视锥细胞，其直径比视杆细胞更小——只有1微米（10^{-6}米），而杆状细胞的直径是5微米——排列在一起。这使得它们集合在一起实现更高的空间分辨率。事实上，从眼睛到大

脑的信息中有一半来自这里。在光线较好的情况下，是中央凹让眼睛能够聚焦于面前的一个点。哪怕是健康的年轻人的眼睛，也只能聚焦两度范围内的物体，大约相当于一臂之外的拇指指甲的宽度。大脑使你可以从大量的小快照中拼凑出一个完整的场景，而这些快照大部分都是由中央凹在一秒内多次拍摄的。

神经学家斯坦尼斯拉斯·德阿纳（Stanislas Dehaene）说，我们看到的世界和视网膜看到的世界大不相同，事实上，后者将是一片非常可怕的景象：一系列高度扭曲的亮暗像素的组合放大在视网膜中央，上面覆盖着血管；而在“盲点”的位置上有一个巨大的洞，在这里，神经将信息传导到大脑；当我们目光转移时，物体的图像会模糊并发生变化；但是，我们看到的是一个三维的场景，修正了视网膜的缺陷、补充了盲点处的信息，并稳定了我们的眼睛和头部运动，而且大脑会根据我们之前的相似的视觉场景的经验对场景进行大量的重新解读。

1802年，医生托马斯·杨（Thomas Young）为我们如今对色彩视觉的理解做出了巨大贡献，他注意到所有的颜色感知都可以由红、绿、蓝三色组合而成，并提出，眼睛里有三种类型的神经，不同神经对应不同颜色。到了20世纪，这类“神经”被发现并命名为视锥细胞。它们确实有三种形态，每种都含有三种不同的视蛋白（感光蛋白）之一，它们在不同的频率上吸收光。第一种视蛋白吸收更多位于可见光谱的较长的一端的光，即我们看到的红色光；第二种视蛋白主要吸收波长位于光谱中间的光，即我们看到的绿色光；第三种视蛋白主要吸收光谱较短一端的光，即我们看到的蓝色。又过了50年，物理学家赫尔曼·冯·亥姆霍兹（Hermann von Helmholtz）和詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell）完善了杨氏的工作，麦克斯韦运用我们现在所说的三色理论创造了第一张彩色照片。你今天看到的几乎每一张彩色图像的处理技术都是在此基础上发展而来的。

更详细来讲，我们眼睛中三种视锥细胞的吸收峰值频率分别是564纳米（它接近光谱的红端，但实际上更接近黄绿色）、534纳米（蓝绿色）和420纳米（蓝紫色）。

激活视锥细胞需要的光比视杆细胞更多，这正是我们在光线暗的时候看不到太多的颜色的原因。我们所感知到的颜色数量取决于特定时刻被刺激到的每一种类型的视锥细胞的数量以及刺激的强度，而眼睛和大脑则对来自多个视锥细胞的信息进行平均处理。例如，当对红色部分敏感的视锥细胞受到的刺激比对蓝色部分敏感视锥细胞受到的刺激更强的时候，你就会感

知到黄色。你可能已经注意到，相比于其他颜色，你的眼睛能分辨出更多种类的绿色，而且这些绿色在光线逐渐消失的时候，还会保持更长时间的可见性。这是因为人眼对绿光特别敏感，它的波长约为555纳米，会刺激三种视锥细胞中的两种：对较长和中间频率的可见光敏感的视锥细胞。

我们很难解释为什么某些波长的组合会产生特定的色彩感觉。哲学家阿尔瓦·诺埃（Alva Noë）举了黄色的例子来说明。他观察到，你可以通过混合红色和绿色的光来获得黄色光，就像通过混合红色和蓝色能得到紫色一样。但尽管你可以把紫色看成“红蓝色”，却不能把黄色看成“红绿色”或“绿红色”。诺埃认为，事实上，就不存在所谓的“红绿色”。“你不会从黄色中看到红色或绿色，但你能从紫色中看到蓝色和红色。黄色，像蓝色和红色一样，是一元色，而不是像紫色一样是二元色[注]。”心理学家和神经科学家迈克尔·格拉齐亚诺（Michael Graziano）认为，我们对白色的感觉是一个谜。他说，白色应该是“最脏、最脏的颜色”，因为它混合了可见光谱中所有波长的光。但是，大脑却认为白光是高亮度和低色值的颜色，代表了纯洁的光——这在物理学上是不可能的。

1704年，牛顿写道：“光线（本身）是没有颜色的。在它们里面，只有某种激起这种或那种颜色的感觉的力量和倾向。”300年后，这仍然是公认的真理：色彩被描述为大脑对信息的解释，而不是一个绝对的、客观的现实表征。它可以表现运动，如黑白轮组旋转可以生出彩虹；也可以表现深度，如远处的山丘在明亮的日光下通常呈现蓝色，就像我们看到头顶上的天空一样，因为我们和它们之间的大片空气散射了蓝色的光而不是波长更长的光。根据哲学家马兹维塔·齐里穆塔（Mazviita Chirimuuta）的说法，“颜色不是头脑、物体或光线的属性，而是一个感知过程——涉及这个三个术语的相互作用”。她将其称为“颜色副词”，颜色不是事物的属性，而是事物在特定个体甚至文化中呈现的方式。“我们不应该把颜色当成形容词，而应该把它们当作副词，应当这样组织句子：我匆忙地（hurriedly）吃着，笨拙地（gracelessly）走着，在晴朗的日子里，我蓝蓝地（bluely）看到了天空！”

> “世界在边缘和深处都是蓝色的。这蓝光是迷失的光芒。”——丽贝卡·索尔尼特（Rebecca Solnit）

如果说人的颜色视觉（又称“色觉”）系统像是用一系列杂牌元件组装起来的电脑，那也是一台性能很好的组装电脑。不同的人的辨色能力有所不同，我们人类能够分辨出的颜色从上万种到数百万种不等。在现实中，我们的眼睛只会分辨出约150种色调，但我们的视觉系统至少考虑了另外两个因素来创造我们称为“色彩”的体验。首先是亮度——物体发射或反射的

光量；第二是饱和度——某个色调的强度，饱和度越高，色彩就越鲜艳，饱和度越低，色彩就越暗淡。将色调与不同程度的亮度和饱和度相结合，就生成了我们感知色彩的巨大范围。当然，还有其他因素也会影响我们对色彩的感知，比如环境。在棋盘阴影错觉实验中，看起来完全一样的颜色的方块被认为颜色不同，这是因为大脑主观加强了阴影中的方块的亮度。

我们的色觉和其他动物相比怎么样？我们的色觉在某些方面的确不如鸟类和蜜蜂，比如它们能看到我们看不到的紫外线。螳螂虾这种甲壳动物因其视锥细胞上拥有12种甚至更多不同类型的色感视蛋白而闻名，而我们只有3种，可事实证明，我们的色觉比螳螂虾要好得多。多年前，其实就是2013年，研究人员还认为，这么多种类的视蛋白会赋予这些动物更高超的辨色能力。但事实正好相反，螳螂虾很难分辨颜色。但是由于其具备的其他适应能力，它们可以分辨线偏振、圆偏振和椭圆偏振光——这令它们能够捕捉到那些我们看不见的猎物，对这些猎物我们只能通过它们身体在水中移动引发的波纹和反射的光来想象。

编织和解析彩虹

把阳光想象成雨滴落在地球上是令人愉快的（而且不完全是错误的）——只不过，这个“雨滴”非常微小，速度非常快，数量也非常多。每一秒钟大约有10^{45}个太阳光子撞击地球——也就是说，在明亮的阳光下，每秒钟有10^{16}个光子撞击每平方厘米的地面。

> “光是某种像雨滴一样的东西。”——理查德·费曼

厨房墙壁上的斑驳的光已经足以引起我的好奇心，而激发艺术家创造出经典大众艺术品的光现象，也并不比我在厨房墙壁上见到的光神奇多少。例如，画家爱德华·霍珀（Edward Hopper）说，他最喜欢画的对象是建筑物侧面的阳光。但对我们大多数人来说，许多时候，惊奇通常与一些更戏剧化或不寻常的事情联系在一起。一束光子和一片水滴相互作用形成的彩虹，就是其中一种。

几乎每种文化都有与彩虹有关的故事。许多澳大利亚原住民都崇拜彩虹蛇，这是一种生活在最深的水洞里的巨兽。彩虹蛇源于一个更加巨大的生物（就是我们在夜晚看到的银河中的黑色条纹），在水和雨中游动。它塑造了大地的景观，通过唱歌让万物诞生。它善恶并存，有时会吞噬或者淹没人类，使得人虚弱、生病和死亡，但有时候，它又能向人间赐雨，给予人类治愈疾病的力量。

在澳大利亚原住民的信仰中，每个人在土地里都有属于自己的家园，那是灵魂在生命诞生之初出现的地方。正如一位长者所说："我们都来自彩虹。"走到生命尽头时，所有人的灵魂都必须归于它们在地下那漆黑、无形的家。宇宙论认为，彩虹不是一道弧，而是一个圆，一半隐于大地，将大地与天空中的生命力量勾连在一起。正如水在物质世界中的流动使有机物繁殖一样，人的灵魂也在地下黑暗的世界与地上明亮鲜活的物质存在之间流动——这就是地理学家段义孚所说的"神学循环"。

其他文化中也有关于彩虹的不一样的传说。在中国古代，彩虹被认为是女娲用五种不同颜色的石块补上天空的裂缝形成的。在格陵兰岛，彩虹被认为是上帝衣服的下摆。在威尔士，彩虹是女神的椅子。在亚美尼亚，它是太阳神的腰带。北美的黑足部印第安人把彩虹称为雨的帽子或老人的钓鱼线。一个日耳曼神话把它描述为万物创生时用来装给鸟上色用的调料的碗。匈牙利语中的"彩虹"的词根是szivárvány，是一个动词，意思是"抽水"。在匈牙利传说中，彩虹的两端会从地球的海洋中汲水。

在地中海古典文明中，彩虹是神的世界与世俗的世界之间的桥梁。希腊人和罗马人说它是女神伊里斯（Iris）创造的路，伊里斯是天与地间的使者。［伊里斯是海神陶玛斯（Thaumas）的女儿，陶玛斯在希腊语中与"奇迹"相关。英语中有"thaumaturgy"（魔术）这个词，意为魔术师或圣人施展魔法或创造奇迹的能力］。挪威神话也认为彩虹是一座连接神殿与人类家园的桥梁。当然，在欧洲、西亚和南亚的大部分地区，彩虹都与弓有联系。芬兰人和拉普人认为彩虹是雷神的弓，雷神是个熟练的弓箭手，他的箭是闪电。在印地语中，彩虹是indradhanush，意为"因陀罗的弓"。在阿拉伯语中，它是Qaus Quzaħ ，是古宰哈（Quzaħ）的战弓，古宰哈是伊斯兰教诞生之前阿拉伯人崇拜的神。

有些文化认为彩虹是邪恶的。印尼群岛中有一座因巨石而闻名的尼亚斯岛，岛上的居民害怕彩虹，认为它是一张被强大精神力量编织出来的网，这个网会将人罩住，从而捕捉他们的灵魂。在亚马孙流域的许多原住民民族那里，彩虹与伤害有关。古秘鲁人尤其恐惧彩虹，他们认为看到彩虹时你最好站着不动，紧闭嘴巴，直到它消失。

> 《创世记》中"彩虹"的原型来自更古老的传说，如《吉尔伽美什史诗》（出现于约公元前1800年）中的故事。彩虹是女神伊师塔（Ishtar）带进天空的一条宝石项链，这条项链提醒她永远不要忘记那场淹死自己孩子的大洪水。

西方现代文明则受到《圣经》内容的影响，认为彩虹是上帝的圣约，关于

它的大多数阐释都是正面的。数百年来的政治和社会运动都将彩虹作为希望和团结的象征。16世纪德国农民起义（这是法国大革命前欧洲规模最大、范围最广的起义之一，它以农民起义的失败和大规模屠杀而告终）的旗帜即以一道彩虹为标志。在20世纪，欧洲的合作与和平运动中也飘扬着彩虹旗。西伯利亚的犹太自治领土比罗比詹，以及安第斯山脉的原住民民族运动也使用了彩虹的意象。20世纪70年代以来，彩虹成为LGBT（同性恋、双性恋及跨性别者）群体反歧视运动的象征。

我们永远不知道是谁第一次提出彩虹是一种没有内在意义的无生命的现象。但我们知道现存记录中最早的科学解释可追溯到公元前4世纪。亚里士多德的《气象汇论》是一部关于地震和天气现象的论著，他在其中把彩虹描述为反射或回声。他写道，沿直线传播的光从雨云表面以不同角度反射回来形成一个圆，在人眼中形成弯弓的形状，这就成了彩虹。亚里士多德认为彩虹只包含3种颜色：红、绿、紫，这三种颜色是光以稍微不同的角度的偏转而成的。

亚里士多德的解释部分是正确的，但不够完整。彩虹“反射”出的阳光，在某种程度上与声音的反射类似，但它同时也被折射了——第一次折射是当阳光射入水滴后，第二次是阳光在水滴里反射后离开水滴时。虽然亚里士多德知道透过棱镜或水滴折射出的光会分离成不同的颜色，但他并没有把这一点应用于解释彩虹，并坚持认为光是由整个云层反射出来的。亚里士多德的解释在欧洲和伊斯兰世界接下来的1 600年中似乎并未受到什么质疑。只有在中国有不同的解释，出自政治家和博学学者沈括1088年出版的《梦溪笔谈》。沈括在书中表示，彩虹是由阳光通过个别雨滴折射而形成的。西方对彩虹有新的认识是在沈括之后约200年。1266年，英国僧侣罗吉尔·培根（Roger Bacon）写道，一道主虹绝对不会高于水平面以上42°。约1300年，波斯学者卡迈勒丁·法里西（Kamāl al-Dīn al-Fārisī）和弗赖堡的西奥多里克（Theodoric of Freiburg），分别对彩虹进行了研究，他们的研究都成了我们现在理解彩虹的基础。他们不了解彼此的工作，但都认为彩虹可以由一个个单独的水滴组成，而不是像亚里士多德所说的那样，由一团云或薄雾像镜子一样反射光而产生。

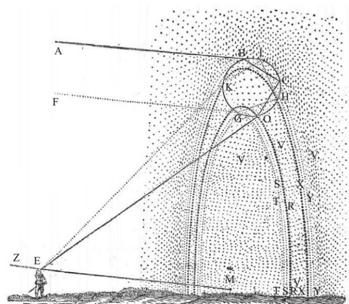
两人都是根据实验和测量得出的结论。法里西将一个球形玻璃容器装满水，作为放大版的雨滴模型，然后放到一个暗箱里，将光投射进去，推断出彩虹的颜色是由白光分解产生的。西奥多里克也用玻璃球做了实验，但主要方法还是仔细观察自然界中的现象。他写道：“延展的蜘蛛网上布满了细密的露珠，在阳光处于合适位置时，眼睛会看到那些颜色中……黄色……是其中最为明显的……就像彩虹一样。”然后他将视线转移到地上，在草叶上看到了同样的东西——他慢慢地转头，改变自己的视野，然后看到了彩虹中的每一种颜色。他们都看到了副虹（二次虹），这种彩虹

出现在主虹周围，呈现出弧形，它是光线在水滴中再次反射所产生的，其颜色顺序与主虹相反。

> 折射定律指当光线穿过不同介质（如空气和水）时，入射角和折射角之间的关系。它是伊本·萨赫尔（Ibn Sahl）在984年前后发现的。托马斯·哈里奥特年（Thomas Harriot和维勒布罗德）于·斯涅耳1602（Willebrord Snell）于1621年都对这一理论进行了完善。

对彩虹的进一步认识出现于1620年。勒纳·笛卡儿（René Descartes）使用折射定律计算出彩虹以41°30′的角度出现在人们头顶。他的后一代人牛顿又重新进行了计算，他发现主虹的角度总是在40°17′至42°2′之间，而二次虹则是在50°57'至54°7'之间。牛顿还认为，在合适的条件下，第三道彩虹可能会以一道环的形态出现在观察者身后，即在太阳的周围，但是因为太阳太刺眼了，所以肉眼无法观测到。

到了19世纪时，彩虹似乎已经不再神秘。1803年托马斯·杨的一项实验表明，光的行为像波一样，这些波之间可以相互干涉（波峰与波峰叠加时振幅增加，波峰遇上波谷时则相互抑制）解释了有时在主虹的内弧上形成的附加的频带。随着对光的色散和偏振的理解的加深，对彩虹的全面解释似乎就在眼前。但它被解释清楚了吗？



笛卡儿通过计算，得出了光从雨滴远端反射又折射入空气后形成的彩虹的角度

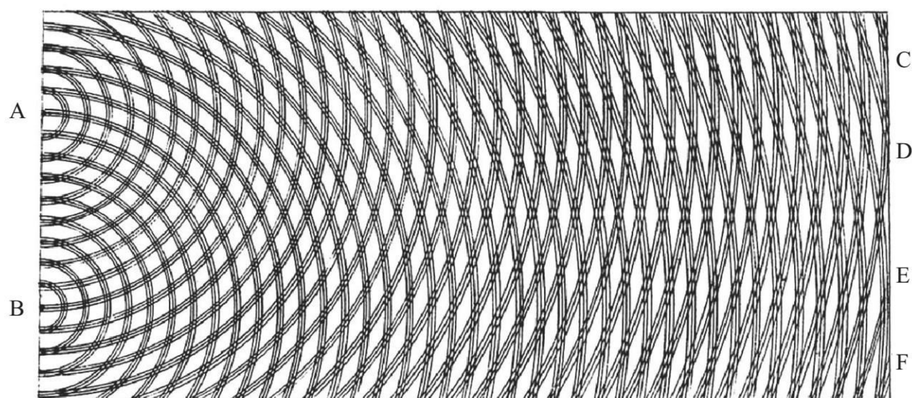
彩虹不是装饰天堂的油彩，不是通往天的路径，不是全能上帝的盟约，只不过是光的戏法，这个解释难免让人觉得有些无趣。科学会消除彩虹的奇迹感吗？与托马斯·杨同时代的一些人都是这么认为的。歌德则尝试了一种更多地考虑了人类情感的新理论，探索我们如何在各种情况下感知颜色，而不是像牛顿一样建立数学模型。威廉·布莱克谴责自牛顿以来的自然哲学

家的“单一视角”，约翰·济慈（John Keats）则在一首著名的诗写道，天空中的彩虹曾经令人敬畏，现在却被归为单调无聊的平常俗物。但是，正如现代学者菲利普·费希尔所说的那样，亚里士多德将回声和彩虹联系起来，不仅是一种科学的思维，也体现了一种诗意的思维方式。它抓住了两个看似遥远的事物之间的内在的相似性，通过语言的瞬时感知将它们结合在一起。法里西和西奥多里克的实验也不是没有美感的。当我想象一名13世纪的僧侣趴在湿漉漉的草地上，慢慢地将头从一边转动到另一边，只为了捕捉到露珠折射出的光线的颜色变化时，我看到的不是对事实“打破砂锅问到底”式的无限追问或是对不确定性的无法忍受，而是一种令人愉快的、孩子般的着迷，以及探索世界自身存在方式的意愿。科学方法并不与精神愿景相对立。笛卡儿关于彩虹的论述出现于他在1637年出版的《方法论》（又译《谈谈方法》）的序言部分，他试图通过数学、逻辑和演绎来确定真正能知道的东西。他相信，这是通往上帝的道路，是一切存在的基础。从这个意义上说，这是一个深刻的宗教议题，而不仅仅是算术练习（虽然他确实看到了他的知识所带来的政治上的应用，并建议把彩虹效应用于展示，比如说为国王的娱乐而设的人工喷泉）。

正如小说家菲利普·普尔曼（Philip Pullman）所理解的那样，布莱克所说的单一视角是指一种字面的、理性的、抽离的、非情感的世界观。双重视觉不仅需要眼睛看到事物，而且也需要观照事物的背景、联想、情感意义以及联系。三重视觉会看到诗的灵感和梦想的栖息地，而四重视觉是一种欣喜若狂或喜而难言的状态。

“短暂的夜晚——在茸茸的毛毛虫的露珠上。”——布松（Buson）

牛顿对自然哲学（或者是我们今天所说的科学）的研究非常严谨，虽然他在理解自然规律方面取得了巨大的进步，但他从未忽视理解的有限性。他确实有力地论证了光是由粒子构成的，但是他也意识到与他同时代的克里斯蒂安·惠更斯（Christiaan Huygens）对相反观点（即光是由波组成的，在100年后托马斯·杨的实验中得到了证实）的论证同样有力。牛顿明白什么时候应停止推测。“想要更清楚地确定什么是光，明白它通过什么样的方式或行为在我们的头脑中产生了色彩的幻象，并不是那么容易的。而我决不会将假说和事实混在一起。”



1803年，托马斯·杨用了一个造波水池和一个双缝干涉仪来证明光的行为就像波一样。不少物理学家认为这是对光的研究中最重要的发现

但是，牛顿也痴迷于《圣经》中的预言，他把大量时间用在标题如“但以理的第四只野兽的第十一角的力量，改变了时代和法律”这样的文章上。他也是一名职业炼金术士，相信物质是有生命的，可以注入精神。他的这些事情直到约翰·梅纳德·凯恩斯（John Maynard Keynes）于20世纪早期发现牛顿的私人文件时，才为人所知。凯恩斯认为：“牛顿并不是理性时代的第一人，而是最后一位魔术师。”牛顿的作品中渗入了至少一种神秘的思想。牛顿将彩虹的颜色分为7种，这是与西方音乐音阶的7个音符（古代的毕达哥拉斯理论认为其代表了世界的神圣比例），以及7个经典行星注相联系的神秘数字。今天，我们可以轻易背诵出这些颜色的名字——红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫，但其实如果不带着先入之见，很少有人能分辨出全部7种颜色。

> “对于任何一个人，甚至任何时代来说，解释所有的自然问题都太过艰难了……最好是做一些已经确定的事，把剩下的留给别人去做，而不是用推测来解释所有的事情却从不确证。”——牛顿

依据我的经验，理解了现象背后的物理学原理，只会增加我对这一切的惊奇。无论我心头有什么想法，当看到光毫不费力地从各个角度穿过空气和水时，我都会开始冥想。就像理查德·费曼的生动描述一样，身处于这一“巨大的混乱”中，我们有时反倒会看得格外清晰。我住在河边，经常在河上划皮艇。英格兰的天气总是阴晴不定。天气晴朗时，金色的阳光在水面上闪烁，从这样的水面上划过会令我感到慰藉。一般来说，我每年都会看到几次彩虹——这样的时刻不多，我总是盼望着它的出现，看到这样看

似触手可及实则遥不可及的美丽事物的时候，我会像孩子一样高兴。我欣喜地认识到，此刻我离牛顿所说的光的“不同的折射光线”产生的光谱颜色最近，而不是如今我们整日被轰炸的电子合成的人造图像。借用歌手普林斯（Prince）一首歌的歌名[注]，在彩虹中，雨是紫色的。

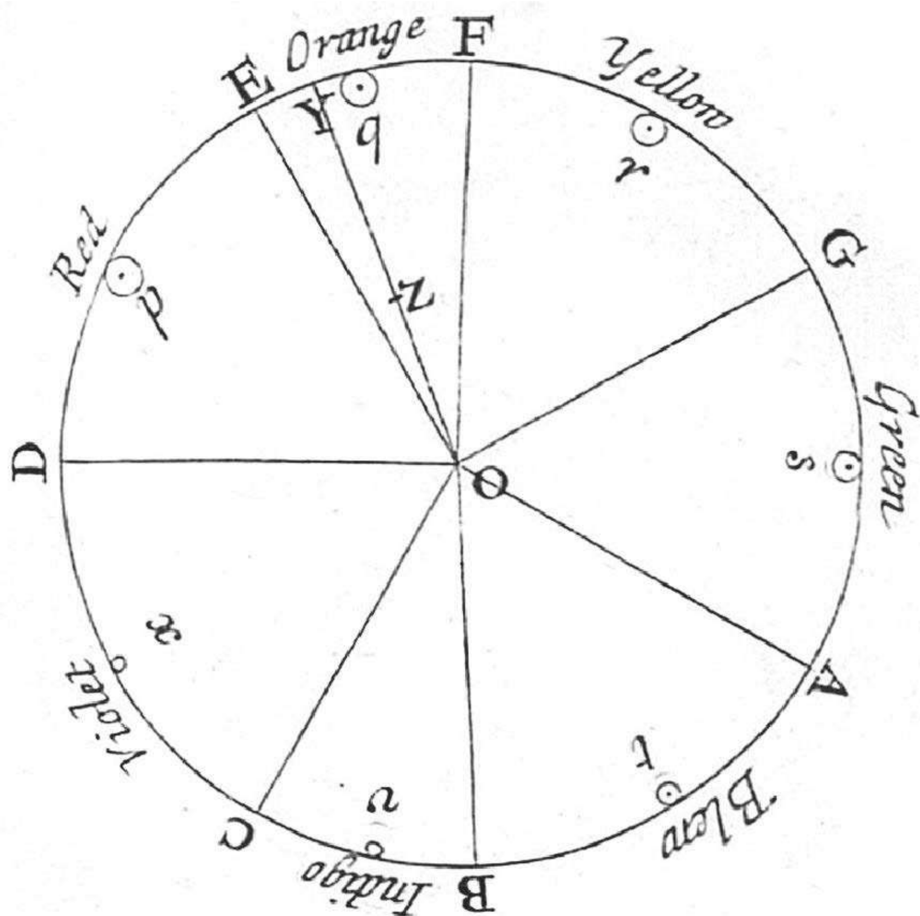
从表面上看，菲利普·拉金（Philip Larkin）之于抒情诗，恐怕相当于“飞鹰埃迪”（Eddie the Eagle）之于跳台滑雪[注]。不过，拉金一首题为“水”（Water）的抒情诗却颠覆了这一印象。在这首诗中，他想象了一种新的宗教：

“我的祈祷文将用
浸泡的意象，
热烈而虔诚地浸透，
我将在东方举起
一杯水
光线从各个角度
无休止地聚集。”[注]

彩虹并不是超自然现象的符号，但它也不是一个独立于观察者之外的存在。它就像地平线：一个视觉的假象，而它也为我们了解在我们之外的世界里正在发生的事情提供了启示，或者至少提供了一条线索。太阳和水滴的相互作用，是一个看似恒定但微妙变化的规律，因此并非一个不祥的意识形象。数学家和天文学家约翰内斯·开普勒（Johannes Kepler）说：“感知，不属于光学，而是属于对奇妙事物的研究。”这当中就包括我们对颜色的感觉，它或许不是“真实”的，但对我们来说非常珍贵。

在紫外线的照射下，由水冰构成的土星的光环，呈现出一种由红、粉、绿、深蓝和其他颜色构成的奇怪的彩虹。

在匈牙利现代作曲家库创作的《尔塔格（György Kurtág用无穷演奏》）（*Play with Infinity*，1973）或者利盖蒂（György Ligeti）创作的《彩虹》（*Arc-en-Ciel*，1985—2001）中，可以听到雨滴声。



牛顿将不同颜色的光线和音乐中的不同音调进行对比，他推测在以太（一种光可穿过的介质）和我们的视网膜中，不同大小、强度或活力的光线会激发“不同大小”的“振动”，他认为，最大的振动对应最强烈的颜色，即红色和黄色；最小的振动对应最弱的蓝色和紫色；中间是绿色；将所有颜色混合就得到白色。根据这个类比，牛顿认为应该有7种颜色，如自然音阶的7个音。事实证明，他的认识是完全错误的，电磁波频谱和声波频率之间没有任何联系

人类在回应对自然现象的认知的时候不可能完全放弃寓言和隐喻，比如澳大利亚原住民心目中的有时行善、有时作恶的彩虹蛇。我还读到过这样的知识：一场即将来临的风暴会造成规模壮观的双彩虹（这种效应是由空气中的重力波引起的，类似于岩石被扔进平静的水中时的场景）。读到这里

时，我发现自己已经在思考未来几年或几十年可能会发生的各种风暴。

2016年是人类历史上最热的一年，全球平均气温连续第三年达到新高，比工业革命前高出1.29摄氏度。人类温室气体排放导致的气候变化很可能会大大增加未来的风暴强度和频率。

彩虹之外的光

彩虹只是我们所能看到的光的所有奇迹之一。有一种被称为“草露宝光”（heiligenschein）的光学现象，这是观察者的影子投射在露水覆盖的草地上时，影子的头部看起来仿佛被一圈光晕包围的现象。其成因是露珠像透镜一样，聚焦了通过水滴的平行的光束，使它们下方的叶子看起来更加明亮。在另一种被称为“宝光环”（glory）的现象中，当观察者的影子落在雾或云上时，影子周围也会出现一个明亮的光环，但与“草露宝光”不同的是，它是一个有颜色的同心环，最里面是蓝色，由内向外依次是绿色、黄色、红色和紫色。“宝光环”的光的主要来源是太阳光在水滴的背面或前方的反射光。光在进入与离开水滴时发生了折射，形成了颜色。在山上，太阳的位置较低的时候，“宝光环”中心的影子可能会被极大地放大，有时影子落在一片较大的凹凸不平的地面上，就会产生一种被称为“布罗肯幻影”的现象——一个既是观察者自己又不是自己的“幽灵”，它令人恐惧又着迷。今天，我们可以从这种“幽灵”现象中感受到，我们的实际身体也只是一种投射：是四维时空中的现象在三维空间里的测地线。

“在广义相对论中，物体在四维时空中总是沿着直线移动的，但在我们的三维空间中，它们却似乎是沿着弯曲的路径移动的。这就像看一架飞机在丘陵地上空飞行一样。虽然它在三维空间里沿着一条直线运动，但是它在二维地面上的影子则形成了一条弯曲的路径。”——史蒂芬·霍金（Stephen Hawking）

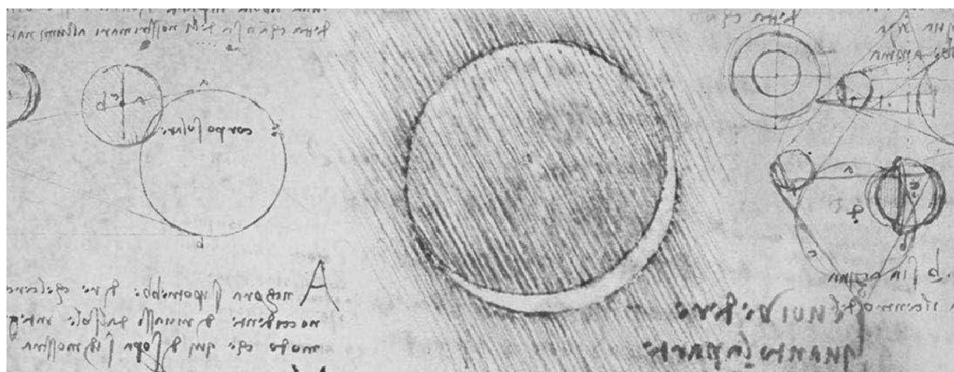
从阴影转向光源（太阳）本身，幻日（也被称为假日）是指真实的太阳旁边一侧或两侧出现了像“回音”一样的太阳，通常还会形成一个发光的环。它是阳光透过从地面上方数千米的高空缓慢地下落的平滑冰晶折射而形成的。在更高的地方，可以看到极光，它的来源和外观就大不相同了，它是一种快速变化的色带，通常是绿色的。当来自太阳的带电粒子受到地球上方的磁场作用，撞击并电离高空中的原子时，极光就会出现。在国际空间站的镜头里，你可以看到看似无尽的极光在弯曲的地平线上滚动，就像在巨大的圣诞布丁上熊熊燃烧的白兰地酒低温火焰。

太阳系中的其他行星也会把光投射到它们的卫星上。土星在土卫一和土卫四上的反照已经被拍下清晰的照片了。一张粗糙的照片显示了冥王星在冥卫一上的反照。

光在太空中形成的许多奇妙现象在地面上是很容易观测到的。地球反照是指地球被太阳照亮的一面将太阳光反射到月球上，将月牙旁边原本黑暗的部分照亮，仿佛新月抱旧月。在晴朗的黎明或黄昏，最容易清晰观察到这种现象。此时月亮接近地平线，看起来触手可及——像站在两个不同世界临界处的两面神杰纳斯。在特定的时间和地点，地球的反照并没有什么不同，但是它的色调和强度会根据你在地球上的位置而变化，因为海洋、陆地或云层对太阳的反射率都是不同的。地球反照的月亮呈现出微妙柔和的光，但若是从月亮的视角看地球，那景象是格外惊人的：一颗耀眼的蓝色、绿色和白色混杂的天体悬于空中，直径看起来有太阳的4倍，比地球上看到的满月要亮50倍。

美洲原住民传说中，在独木舟仍可到达的太平洋深处，天空的边缘拍打着水面，激起波纹。每击打12次，天空移动的速度就更慢一些，这样一个熟练的航海家就有足够的时间从它的边缘往下行驶，到达外海，在另一个世界的海岸上彻夜舞蹈。

地球上的光之奇观可以列出很长的目录。比如天空中最亮的恒星——天狼星，它在夜空中会依次显现出所有可见的彩虹颜色，这是它的光通过大气时发生折射形成的。还有黄道光：在黄昏后和黎明前的天空中可见的弥散的辉光，由太阳系中数以亿万计未能形成行星或小行星的微小的尘埃颗粒（每立方千米中不超过一个）反射太阳光而成的。而现在我们还没有开始研究关于光本身的“魔法”呢。（我最喜欢的例子之一是理查德·费曼提过的：你可以拿一块镜子，抠掉它表面的一部分，镜子就会以它以前没有的角度反射光。）而接下来，我要开始讨论这些光之戏法的共同起源：太阳。



列奥纳多·达·芬奇在**1506—1510**年间描绘的地球反照图像

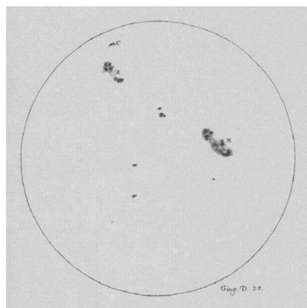
> 用天文学家凯莱布·沙夫（Caleb Scharf）的话说，黄道光是散布在行星黄道平面及其近旁的尘埃和其他物体所形成的尘雾现象。

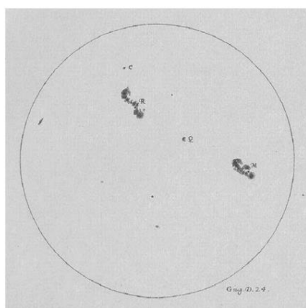
凝视太阳

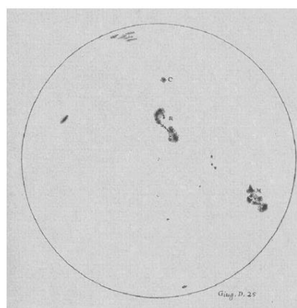
在大部分有文字记录的历史中（很可能从有文字记录的很久以前开始），人们就对太阳抱有敬畏之情了。许多文化将太阳作为宗教的核心。但直到一百多年以前，人们都不知道太阳究竟是什么，以及究竟是什么让它发光的。

直接盯着太阳看一会儿就可能会导致失明，但多亏了技术的进步，我们现在已经可以认真欣赏它真正的辉煌了。美国航空航天局的太阳动力学观测台在2015年发布了一段视频，将其5年来的详细观测记录压缩为几分钟。太阳表面翻滚、扭曲、旋转和倾泻着的物质是如此迷人，以至于你盯着它看时，会忘乎一切。

NASA的太阳短片是令人着迷的，但关于太阳的影像最早在1613年就出现了。在那一年的6月和7月，伽利略透过望远镜观测太阳，并记录了其表面的斑点位置。他的画作可以媲美几百年后的高质量照片。按顺序一张一张看（就像电影的每一帧一样），我们就可以看到太阳表面的斑点在平滑移动。







1613年6月2日到7月8日，伽利略每天观察太阳黑子并记录其位置，这三张图是从他留下的24张图中选出来的，按时间顺序排列

人们很早就知道太阳黑子了。中国在公元800年前后就有关于它的文字记录了，而且许多文明中都有关于它的故事。根据资料，古赞比西人认为太阳黑子是被有嫉妒心的月亮溅到太阳脸上的泥浆。伽利略甚至不是第一个通过望远镜观察它们的人，数学家托马斯·哈里奥特在1609年就这样做了。但是，伽利略和另一个名叫约翰内斯·法布里丘斯（Johannes Fabricius）的观察者首次通过太阳黑子沿着太阳移动，在一个边缘消失，又在另一个边缘出现的现象猜测，这个明亮的圆盘是实际上是一个旋转的球体，当太阳转动时，黑子就沿着太阳自转的方向移动。在伽利略的图画中，我们可以清楚地看到，他完成了将太阳从一个令人眼花缭乱的不可知的物体转变成某种可知的东西的第一步尝试，这同样也令人惊讶。

伽利略之后的几百年时间里，天文学家对太阳的性质鲜有更多的了解。许多猜测轮番上阵，有些较为机敏，有些则错到离谱。笛卡儿认为太阳上的这些斑点是原始海洋上的浮渣。17世纪的博学者阿塔纳修斯·基歇尔（Athanasius Kircher）将太阳描绘成一个沸腾的海洋，喷出火湖。18世纪和19世纪初的天文学家威廉·赫歇尔（William Herschel，他发现了天王星）认为太阳黑子是一扇扇舷窗，透出了太阳内部一个更加黑暗的世界，那里避开了灼热的辐射外壳，人们得以生存。但没有谁有事实证据来证明自己的观点，因此哲学家奥古斯特·孔德（Auguste Comte）在1835年说，如果不实地旅行一下，我们就不可能研究太阳或其他星星的化学成分。但是孔德错了。太阳确实能告诉我们它是由什么组成的，只要我们知道正确的观察方法。

1802年，化学家及物理学家威廉·渥拉斯顿（William Wollaston）发现，如果让阳光先穿过一块金属上的狭缝，然后进入棱镜，就可以在投射出的太阳彩虹生动的颜色之间看到几条细细的黑色竖线。物理学家约瑟夫·夫琅禾费（Joseph Fraunhofer）在1814年用更好的设备重复了这项实验，并证明了彩虹表面看起来的连续性是一种错觉：实际上其中有肉眼无法观测

到的微小空隙，空隙中没有色彩，呈现出暗淡的或黑色的弧线。夫琅禾费发明了分光镜，用它将超过500个空隙进行了编目，形成了被人们熟知的夫琅禾费谱线（或吸收谱线）。事实证明，太阳，这一人类之光，并没有覆盖整个可见光谱。

半个世纪后，罗伯特·本生（Robert Bunsen）和古斯塔夫·基尔霍夫（Gustav Kirchhoff）通过加热各种化学物质，并通过分光镜观察它们发出的光，有了另一项发现。例如，水银蒸发时，热气发出的光在肉眼看来是蓝色的。但是当这个光穿过狭缝和棱镜后，它就变成了紫色、绿色和黄色。本生和基尔霍夫意识到，蓝色实际上是眼睛混合这三种颜色时看到的印象。他们意识到，分光镜展现了任何被加热的化学物质发出的“真实”的光谱颜色，他们对不同的元素进行实验，发现每个元素都有自己独特的“指纹”。例如，钠会放射出一对紧密排列的黄色谱线。本生和基尔霍夫将太阳光谱中的黑线与数十种元素的亮线模式相匹配，特别是氢、氧、铁和钙这4种元素。到19世纪60年代末，他们已经将除黄色部分的某个系列外的所有黑线与地球上已知的元素相匹配了。他们将这一系列的神秘线条解释为一个未知元素的特征谱线，并将其命名为“氦”（Helium），取自希腊太阳神赫利俄斯（Helios）的名字。许多人认为氦只存在于太阳中，但1895年，化学家威廉·拉姆齐（William Ramsay）在地球上发现了它。他从一个铀矿井中分离出一种气体，并将其通过分光镜，发现它的谱线完全解释了太阳光谱中黄色区域的那些未知的线条。如此一来，人们终于完全掌握了太阳的化学成分。

> 铀衰变为铅时，产生的最终的稳定产物之一就是氦，并且会不断积累。一种类似于炼金术的过程将原子弹的原料铀变成了太阳的成分氦，以及抵御放射性能力最强的元素铅。

要回答是什么使得太阳发光这一问题，需要将光谱和理论物理学联系在一起。1905年爱因斯坦发表了著名的$E = mc^2$的公式，证明质量可以转化为能量。天文学家和物理学家阿瑟·爱丁顿（Arthur Eddington）意识到了这一关系的重要性，并在1920年提出了一个理论。他认为当太阳中的一个质子（氢原子核）与另一个质子结合形成氦时，就会有大量的能量以光和热的形式被释放出来。20世纪30年代，物理学家汉斯·贝特（Hans Bethe）等人证实，像太阳这样的恒星内部进行的过程更为复杂，但大体上正是爱丁顿提出的这一过程，我们称之为“聚变”。实验证明，每一秒钟，太阳就能以这种方式将大约425万吨的物质转化成能量和光。这些能量相当于超过9×10^{16}吨的TNT（三硝基甲苯）炸药，或是75 000颗美国军方最强大的B83氢弹，或是6万亿颗广岛原子弹爆炸产生的能量。尽管如此，太阳和核装置之间还存在着巨大的差异。首先，太阳是相对缓慢且不断地释放能

量的，发生在内部的核聚变受到从太阳内核到表面几十万千米厚的气体缓冲，变得相对温驯。

在现实中，核聚变是一个复杂的、多步骤的过程。两个质子的距离越近，它们的正电荷之间的斥力就越强烈，只有一种叫作“量子隧穿”的效应才能使它们结合，就好像它们没有足够的能量打开门，但能够偶尔“隔墙传送”一样。此外，两个质子结合时产生的氦–2极不稳定，通常会分裂成两个不同的质子。然而，一万次中有一次，其中一个质子会自发地转变成一个中子，然后原子变成氘——氢的一种稳定同位素。氘和氢可以聚变形成一种稳定的氦的同位素，最后的这一过程才是恒星释放能量的来源。

几乎所有的聚变都发生在太阳的核心部分，太阳和其内核的大小比例就像桃子和桃核一样。太阳内核里，在强大压力和引力作用下，温度超过了1 500万摄氏度，在这样高的温度下，原子无法以固态、液态或气态存在，只能以等离子体这一物质的第四形态存在着。能量一层一层地向外传递，让外层逐渐被加热，最终到达太阳表面并释放到太空中。但这个过程不会很快，因为核中的氢和氦密度非常大，聚变产生的光子在移动很短一段距离后就会碰撞到其他原子，在那里它们被吸收，然后再次发射。其结果是，光子在到达距离内核大约50万千米的太阳表面之前，要足足随机游走20万年。而一旦进入太空，它们走相同的距离只需要不到两秒钟，飞向地球的光子在8分20秒的时间里穿越了1.5亿千米的距离。这意味着，你所看到的来自太阳的光，实际上来自很久以前发生的一个反应，那时解剖学上所说的现代人类刚刚进化出来。

你也许认为“等离子体”（plasma）是一个很难押韵的词，但“明日巨星”（They Might Be Giants）乐队在《太阳为什么会发光》（*Why Does the Sun Really Shine*）用“瘴气”（miasma）来押韵。

太阳的可见表面被称为光球层，其温度不到核心的四万分之一。但平均为5 500摄氏度的温度仍是熔岩温度或铁的熔点的3倍。然而，像一碗被加热沸腾的汤一样，太阳是一个动荡的地方，且不同地方的情况相差很大。在一些地方，热等离子体的“大气泡”会向上移动到光球层，而在另一些地方，强磁场会减慢或阻止它们的上升。移动得越慢的物质越冷——在太阳表面，低至4 000摄氏度的物质就算冷的了，而越冷的物质看起来越暗。太阳表面这些磁性更强的区域就是伽利略绘制过的太阳黑子。

太阳上的天气

我们都知道太阳会影响地球上的天气。但较少为人所知的是，太阳本身上面也有着范围广阔、相当恶劣的天气。在太阳明亮的可见表面上方，磁场线向外流动，又沿弧线落回表面，其规模足以使整个地球相形见绌。满载电荷的等离子体沿着这些磁场线流动，磁场线有时连接，有时断开，等离子体也时而聚合，时而像一条绳子在张力下会断开那样，在极快速度（这里的快速意味着温度高：温度可以上升到数百万度）下断裂。这些高电荷、快速移动的等离子体被称为日冕，之所以得此名是因为在日全食时，它们看起来像皇冠上的宝石。当太阳风冷却日冕时，有些物质会逃逸到太空中，但大部分都会回落到太阳表面。也就是说，这是太阳上在下“雨”，这像是从海拔超过60 000千米的高度，以超过20万千米每小时的速度从高空落下稍微冷一些（但仍然非常热）的等离子体雨，每一滴都有好几个国家那么大。

> 太阳并不是太阳系中产生极光的唯一原因。在木卫一上，会产生一种绿、红、蓝三色的极光，而它是粒子与木星的磁层相互作用而成的，与太阳无关。

太阳上也有龙卷风。旋转的等离子体产生的旋涡会使得磁场扭曲，形成超级龙卷风，从表面进入太阳上层大气。更为惊人的是太阳耀斑和日冕物质抛射。在耀斑中，沿着磁弧被加热到数百万度的等离子体，将电子、离子和原子（以及大部分在可见光范围之外的电磁辐射）以接近光速的速度射入外层空间。日冕物质抛射以只有光速的2%的速度（仍达百万千米每小时）将粒子喷射到太空中，喷出的物质比耀斑还多。诗人沃尔特·惠特曼（Walt Whitman）有一句与这毫无关系，但借用来形容这一现象却十分恰当的诗，他写道：“无限的清澄的爱的喷射，灼烫硕大，颤抖的爱的岩浆，白色狂热的汁液。”过了几天，这些喷射物的外缘会接触地球的磁气圈，引起地球磁极附近的磁暴和异常强烈的极光。

所有这些活动本质上都与太阳深层的过程有关，特别是与它的内外球层之间的分界线上发生的过程有关。太阳的内部——它的核心和辐射层差不多像实心球一样一致地旋转。但是，从中心到表面的三分之二的距离的地方——在一个叫作“差旋层”的薄层上，以及被称为对流层的区域——流动则更为湍急。在这里，赤道上的等离子体绕太阳旋转一周大约需要25天左右，两极处所需的时间则更长。这一差别导致了旋涡和经向流——大量的磁化物质形成输送带流向高纬度地区，在那里下沉，然后返回太阳赤道。通常情况下，这些物质流会在大约60度纬线附近开始折返，但有时它们会

一直游到两极。当这种情况发生时，返回就会慢一些，太阳就变得不那么活跃，从而导致太阳黑子减少。太阳的“呼吸”或“脉搏”以11个地球年为周期，太阳周期会改变太阳风、X射线、紫外线和可见光的输出。

太阳的诞生与死亡

人们有时会说太阳有一位母亲和一位父亲。简单来讲，母亲是一个主要由氢组成的巨大的分子云，而父亲是一个巨大的蓝色恒星爆炸产生的冲击波——这一恒星比太阳大，密度也要大，但是比分子云要小。除了氢以外，母云还包含了几乎所有的其他元素，与星系中之前几代恒星的残骸混合在一起。这些恒星在过去数十亿年里一直在旋转，并以超新星的形式爆炸。云与恒星的相遇并没有什么必然或独特之处，但大约46亿年前，它们的距离刚好足够接近，被引力吸引到一起，从云层中孕育出一个新的天体：一个被称为太阳星云的稠密氢球。这个原始太阳只有原始云的千万分之一：相当于一个足球场上的一颗苹果种子。今天，无数类似的事件仍在发生，可以在类似鹰状星云中的“创生之柱”的图片见到。

“星星，就像思想一样，不是必然的。在弥漫的混乱中，有些东西可能融合，有些则不能，在太空中漂浮的斑点会发现彼此很容易逃脱。”——埃米·利奇（Amy Leach）

对于太阳的结局，我们中的许多人都有一个大概的了解，即有一天，太阳将变成一个红巨星，它将会燃烧并吞下地球。再也没有层云的高塔和华丽的宫殿了，伙计。然而，这整个故事比你想象的还要美丽惊人，它至少值得用一首伟大的乐曲来描述。我想象了一下，它可以超越古斯塔夫·马勒（Gustav Mahler）的《大地之歌》中“告别”乐章的最后一个和弦［本杰明·布里顿（Benjamin Britten）认为，这是在空气中留下的印记］，超越约翰·卢瑟·亚当斯（John Luther Adams）最近的《变成海洋》［*Become Ocean*，音乐评论家亚历克斯·罗斯（Alex Ross）将其描述为“音乐史上最可爱的启示录”］，更不用说《四个太阳的天空》（*Sky with Four Suns*）了。然而，我所能提供的只是一个物理学的大纲——一个“曲目介绍”的梗概。

戴维·贝德福德（David Bedford）在《星的终结》（Star’s End，1974）中尝试过描述这样的场景，但这不是那么容易听到的。对于太阳的主序阶段，你可以从布赖恩·伊诺（Brian Eno）的《光》（Lux，2012）开始聆听。约翰·科尔特兰（John Coltrane）的《太阳星》（Sun Star，1967）则包含了太阳的一生。

除非有具有惊人力量的智慧生物介入（这听起来有些夸张）或者是与另一颗恒星相撞（这是极不可能的），太阳的未来轨迹几乎在每一个方面都是可预测的。正如天文学家马丁·里斯（Martin Rees）所说，“即使是最小的昆虫也比恒星复杂得多”。但是，在一切都已注定的情况下，仍然可以有一些伟大的东西。人类的事件在细节上是不可预测的，但我们星球的命运不是这样的，也许古挪威人的这一说法中蕴含了一些真理：决定未来的纤维已经选好，且开始编织了。

只要燃料供给仍然存在，太阳就会继续发光。太阳的质量大约是地球的33万倍，体积是地球的100万倍——假设太阳像一个篮球那么大，地球就只有一粒豌豆那么大。到现在为止，太阳大约有46亿年的历史，快要走完主序阶段的一半时间。在主序阶段，它通过将氢结合成氦来产生能量。它有2×10^{27}吨的燃料，足够它燃烧几十亿年。在这段时间里，它会变得越来越热、越来越亮。从现在起，再过10亿年，太阳的热量就足以蒸发掉地球上所有的海洋，我们星球上的平均温度将超过370摄氏度——比烤比萨的温度还要高得多。诗人罗伯特·弗罗斯特（Robert Frost）说：“我认为我们就像苍蝇或臭虫一样，是无法消灭的。”但这些条件将会比他和他同时代人所担心的热核武器带来的世界末日还要恶劣。地球上的大型生物，包括人类，早已灭亡了。

10亿年后，地球上能存活的最后一类多细胞生物可能是“水熊虫”或类似的缓步动物（这种动物的食物是细菌和较小的缓步动物），和/或类似于在海底热液喷口发现的管状蠕虫的生物。微生物可能会在地球深处活到20亿至30亿年后。

然而，即使到了这一天，太阳作为一颗主序星的生命才刚过一半，再过40亿年，它仍然保持与今天一样的大小，辐射着白光。只有在大约50亿年后，太阳核心的氢最终会被消耗殆尽，然后太阳开始膨胀。一开始的扩张是缓慢的，太阳将需要大约5亿年才能变成现在的两倍大小。紧接着，它的膨胀将会变得很快，直到它变成一个有现在200倍大小的红巨星，而且比现在明亮2 000倍。到这个时候，它将吞噬和焚化水星和金星，但地球可能会被膨胀的力量向外推，继续围绕太阳运动而不被吞噬（尽管此时地球的温度对于生命来说已经太高了）。土星的卫星土卫六目前十分寒冷，表面的液态甲烷流入深峡谷，或许土卫六在那时候会升温到我们舒适生活的温度范围，可以想象，假设我们遥远的后代以某种方式逃离了地球上的酷热的话，这里或许将是他们的避难所。

太阳将以红巨星的状态保持约10亿年。在这段时间里，它将逐渐消耗掉三分之一的质量，然后，突然，核中的氦会开始剧烈燃烧，这个过程被称

为“氦闪”。超过三分之一的残骸将在几分钟内变成碳。在那之后，它的体积将从现在的100倍缩小到现在的10倍左右，并且在大约1亿年内燃烧掉所有的氦。当所有的氦最终被耗尽时，太阳将会再次膨胀，不过这次膨胀将会比耗尽氢时的膨胀快得多，这个新的巨星只会有大约2 000万年的寿命。太阳会变得越来越不稳定。在接下来的几十万年里，它会“闪耀”大约4次，就像一个灯泡在闪烁，每次闪烁时只比上一刻更亮一点，随即继续变暗，直到最终完全熄灭。

太阳因为太小而无法变成超新星，只有一小团物质会被抛入太空中。其余的物质将收缩成一个超致密的核心，大约是地球的大小——一个主要由碳和氧组成的超高压球。这一核心将发出强烈的紫外线，这将使爆炸产生的膨胀气体看起来像是绿色和红色的气泡。在几万年的时间里，这个残骸将被一个行星状的星云所包围，就像我们今天看到的任何奇观一样美丽。这一时刻或许可以与亨德尔1713年创作的《安妮女王生日颂歌》（又称“永恒的圣光之源”，*Eternal Source of Light Divine*）的倒数第二小节相媲美，在二重唱结束后，小号声上升到最高的D音，这是前所未有的美妙音调。

> 最美丽的星云之一——环状星云（M57），是一道圆形的彩虹，中心是天蓝色，被绿、橙、红色包围。行星星云在星系演化中扮演了一个重要的角色，将氢和氦聚变形成的碳和氮等重元素从它们的母星中排放到星际介质中，成为下一代行星的一部分。地球上每一个生物中的碳元素可能就来自这些星云。

在那之后，气泡将消散，而由于核内不再发生聚变，太阳将变成和今天地球大小一样的白矮星。它自身的引力带来的微小收缩将足以产生持续很多年的光，直到它变成一个黑矮星——一种完全没有热量或光的残余物。［如果要用人类的想象力来体验这种感觉，或许有点像库尔塔格1994年创作的《石碑》（*Stele*）中的慢板乐章。］曾经是我们太阳的黑矮星最可能的命运是，在大约10^{19}年之后，它将从星系中被驱逐出去（与仍然围绕着它的行星一起），进入星系间的空间。如果这种情况不发生，那么它可能在10^{21}年内与另一个黑矮星相撞，产生一场超新星爆炸，它将摧毁太阳系残留的任何东西。如果这两种情况都不发生，黑太阳将继续在银河系轨道上运行，慢慢地向银河系中心的黑洞移动。但在它到达那里之前——在10^{100}年后的时候——黑洞将消失。在这种情况下，地球最终全被吸入曾经的太阳中，除非一些不可预知的引力作用把它从太阳的轨道上拖出来，进入冰冷、空洞的宇宙深处。

黑暗的奇迹：中微子

“光告诉我们很多事，”19世纪自然作家理查德·杰弗里斯（Richard Jefferies）说，“但我认为，在时间的过程中，仍然会有更精妙细微的媒介存在，通过这些，我们将看到天空的阴影里都有些什么。”在光明之外，知识的边缘处还有许多种黑暗。1800年，威廉·赫歇尔发现了看不见的光。他将一个温度计置于一个棱镜所投射出的彩虹图案外沿没有光的位置，发现温度升高了。他正确地得出结论，这是由“热光”引起的，我们现在称之为红外光。事实证明，撞击地球表面的所有光子中，只有40%多一点点处于光谱中人类可见的那一部分。红外线和紫外光几乎占据了其余的全部，分别为50%多一点儿和5%少一点儿。这三者对地球上的生命都是重要的。也许，最重要的是，红外光有助于保持地球温暖以适合生命居住。有些蛇可以探测到它们的猎物发出的红外线，而许多鸟类和昆虫可以看到光谱中的紫外线部分。这赋予了它们对颜色的感知，这对我们来说很难想象——比如说，它们能看到那些我们看不见的花瓣上的图案。但是还有别的东西比从太阳上倾泻的光还要奇怪，它们超出了我们的认知范围。

在一些情况下，人类会看到红外光。当一对红外线光子同时击中同一种色素蛋白时，就会发生这种情况。有相关的报告称研究对象看到了低能激光器发出的红外线。

中微子，同光子一样，是太阳内部发生的核聚变及类似的宇宙事件中产生的基本粒子。但是，与光子不同的是，中微子会直接穿过我们，不会产生明显的现象。中微子会瞬间从太阳逃逸，不像光子一样有延迟。中微子以低于光速的速度飞行，每秒钟都有亿万个中微子从你身体里穿过。即使是在夜晚，来自太阳的中微子也能从地球的另一端穿过地球，再穿过你的身体。对中微子来说，我们就像鬼魂一样。

中微子在被探测到之前就被物理学家提出来了。1930年，物理学家沃尔夫冈·泡利（Wolfgang Pauli）为了解释质子被转化为中子（一种叫作β衰变的现象）时的能量和动量守恒，发现自己需要假定一个全新的、不可见的、迄今为止无法想象的粒子的存在。这在当时是一个疯狂的想法，中微子本身也极为奇怪。一方面，它们令人惊讶地小——比质量第二小的基本粒子电子还要小得多。另一方面，被创造出来之后，它们极少与其他物质互动。例如，平均来说，厚达1 000光年（9 500万亿千米）的铅才能阻止一个中微子。然而，这仅仅是平均值，偶尔一个中微子会在一个体积更小、密度更大的物体中撞击一个原子。通过检测这些罕见的事件，我们知道中微子确实存在。

平均来说，每个星系在一个世纪中会发生一次超新星爆炸。在可观测

宇宙范围中，每年大约有10亿次爆炸，也就是每30秒，宇宙就有一次爆炸。宇宙就像是一瓶不断冒泡的香槟。

第一批中微子是在20世纪50年代发现的。他们不是来自太阳，而是来自宇宙深处的超新星爆炸——大质量恒星的生命尽头。一个标准的超新星爆炸会释放10^{57}个中微子。来自太阳的中微子直到20世纪60年代才被发现，一位和奇想乐队主唱雷蒙德·戴维斯（Raymond Davis）同名同姓的物理学家在南达科他州的一个旧矿井里，通过一个由10万加仑[注]的清洁液组成的“望远镜”发现了中微子。平均来说，每天有一个中微子会与液体中的一个氯原子相互作用，使其变成一个氩原子。更令人惊奇的是，戴维斯发现了找到氩原子的一种方式。

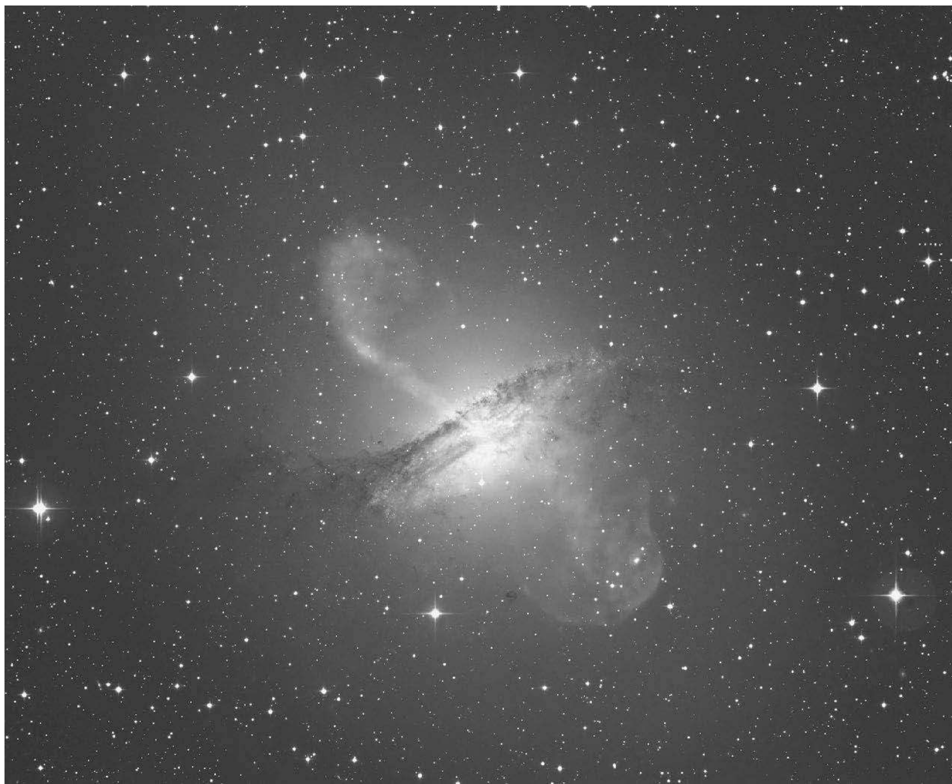
但中微子除了微小的尺寸和飘忽不定的行踪之外，还有更奇怪的特性。一个是它们多变的本性。一个中微子的类型，或“味道”（flavou）从来没有固定过。相反，它在宇宙中飞行中会在三种不同的状态之间“振荡”。如果一个中微子与普通物质相互作用，它就会转化成三种不同类型的带电粒子中的一种，带电粒子的种类取决于原先的中微子处于哪种状态。另一个谜团是中微子（与光子不同）的质量问题。根据粒子物理学的标准模型，有质量的粒子必须同时存在左手性和右手性的版本[注]，但是迄今为止观察到的中微子都是左手性的。如果能解决这个问题，也许有助于揭示为什么宇宙中物质比反物质更多。

黑暗的奇迹：黑洞

另一个与黑暗相关的难以理解的概念是黑洞。这种著名的“物体”（如果能被称为“物体”的话）形成的方式之一是恒星生命末期的坍缩。当一颗质量足够大（通常是太阳的25倍以上）的恒星燃烧掉所有的燃料后，核聚变停止，不再产生向外推的能量，恒星就会坍塌。然后，它以超新星的方式爆炸，将大量的电磁辐射和中微子射入太空；与此同时，它的核心却向内塌陷，直到变成一个奇点：物质无限致密、时空无限弯曲的区域。在这个阶段，我们知道的物理定律就不太管用了。广义相对论预言了黑洞，但是量子力学预言视界（黑洞和宇宙的其他部分之间的边界）处存在霍金辐射，这是一种与广义相对论矛盾的现象。无论如何，目前物理学家还不清楚如何调和两者。为了进一步探究这些谜题，物理学家们提出了许多惊人的假说。有人认为，黑洞可以通过转变成和它们完全相反的“白洞”来终结自己的生命，“白洞”会以爆炸的方式将它们所吞噬的所有物质倾倒进太空。另一些人则持不同意见，他们认为，我们的宇宙在另一个宇宙中看起来就像一个黑洞，新的宇宙在黑洞里不断地被创造出来，一个“超黑洞”孕育了我

们的宇宙，这意味着宇宙大爆炸是由一个坍缩的高维恒星创造出来的海市蜃楼。还有人计算出了黑洞的内部能量，计算出了它的事件视界和其他性质，他们表示，引力起源于十维的无限细的振动弦，而我们的宇宙仅仅是一张“全息图”。

霍金辐射可简单描述如下：宇宙中每一立方毫米的空间，不管它看起来有多么空荡，实际上都是一个由涨落场组成的混乱的区域，成对成对的粒子和反粒子（如正电子和电子）在此出现和消失。（用海德格尔的话来说，就是Das Nichts etwast，即“没有什么东西的东西”。）通常情况下，一对正反粒子在十亿分之一的十亿分之一秒中将彼此湮没。但在黑洞视界附近，一对粒子中的一个可能会在湮没发生之前便被黑洞所吸收，在这种情况下，另一方会逃逸出去，这就是霍金辐射。



在巨大的半人马座A星系（**NGC 5128**）中，垂直于其平面的喷流揭示了其中心存在一个超大质量黑洞

一些黑洞也创造了宇宙中最明亮的天体。他们的旋转扭曲了自己周围的时空，在一个无限薄的环上形成一个旋涡，而不是一个点。黑洞将附近的气体、尘埃、恒星和行星从周围的星系吸引到自己周围，使这些物质旋转、加速并将其撕裂，这个过程产生了巨大的磁场和巨大的热量。磁场将粒子以与旋转的平面成直角的方向喷射到星际空间中，喷射速度接近光速，距离从数千到几百万光年不等。如果黑洞足够大，其吸积盘中的引力剪切和摩擦力会产生比宇宙中的任何东西更多的热量和光。这种天体被称为类星体，它的辐射覆盖了整个电磁波谱，从无线电波和低频微波，到红外线、紫外线和X射线，再到高频伽马射线。

已知的最亮的类星体是S5 0014＋81，它的亮度是太阳的300万亿倍，比银河系中所有恒星的亮度加起来都要亮2万倍。在类星体的中心有一个黑洞，它的质量是太阳质量的400亿倍，比我们银河系中心的黑洞质量要大1万倍。事实上，我们应该用过去时，因为S5 0014＋81距离我们超过120亿光年，所以望远镜向我们展示的是它超过120亿年前的样子。

在相关文章中，黑洞的图像都是人类的创造力和想象力的产物，而非其真实的图像。2014年的电影《星际穿越》由物理学家基普·索恩（Kip Thorne）提供科学指导，该片将黑洞呈现为一个漏斗或虚空的球体，它弯曲了来自背后恒星的光，使光绕过黑洞的两侧（一种称为引力透镜的现象），它的赤道周围环绕着一个发光吸积盘（同样来自透镜效应），看起来就像是在它的顶部形成了一道“火焰的彩虹”。你看到的这些差不多是一个很准确的描述了。不过，旋转的黑洞周围的光线在转向你的一侧会比转离你的一侧看起来更明亮，这会产生一种效果，使得其更像是一个平滑的月牙而不是一个光环。索恩刻意避免了这种不对称，担心这会令观众混淆，但在1978年由天文学家、作家和诗人让–皮埃尔·卢米内（Jean-Pierre Luminet）创造的图像中，我们可以清晰地看到这一景象。使用现在已经过时的20世纪60年代的IBM 7040计算机和穿孔卡片，卢米埃没有办法将结果显示在屏幕上，所以他利用这些数据，通过把墨水滴在照相底片上的方式手工绘制出一张图像。

当你读到这段话时，天文学家可能已经拍下了黑洞的第一张真实照片。

[注]技术上的挑战是巨大的：最近的黑洞被认为是隐藏在一个明亮而致密的天文放射源中，被称为人马座A*，位于银河系中心，距离我们26 000光年远。在这个距离上，它看起来的大小和月球表面的一个甜甜圈差不多大，一个分辨率比哈勃空间望远镜还要高1 000倍以上的望远镜才能为之拍到一张照片。本书英文版出版时，一个叫作“事件视界望远镜”的全球协作组织已经开始工作了。科学家希望将夏威夷、西班牙、美国亚利桑那、智利和南极的射电望远镜的数据结合起来，创造出一个口径像地球直径一样宽的单一望远镜。

其他技术可能会大大增加我们对黑洞的理解，甚至能够实现黑洞的可视化。在2016年，一个由近千名科学家组成的团队记录了一个“哔哔”的声音，这让几乎所有人都感到震惊和高兴，这一声音被认为是由13亿光年之外的两个黑洞并合而发出的。激光干涉引力波天文台（LIGO）是两座各由一组4千米长的“手臂”组成的装置，每座装置的两条“手臂”相互垂直，两座装置相距约3 000千米。它能记录两条“手臂”的光路长度间极细微的差异，只有质子直径的千分之一，相当于测量地球与最近的恒星距离间一根头发丝直径的变化。他们的研究结果证实了引力波的存在——引力波是以光速传播的时空曲率的涟漪，爱因斯坦在100年前首次预言了它。他们还创建了一个模拟的动画，两个黑洞彼此之间的距离越近，速度越快，直到它们突然融合成一个，就像下水道口上方的漩涡中的两个气泡合并成一个一样。将来，LIGO和利用相同原理的系统很可能会使黑洞、中子星和其他“黑暗”现象的研究变得更加精确和详细。天文学家将聆听到越来越多宇宙的声音。

黑洞并不是处于人类理解范围边缘的唯一黑暗之物。如果某些理论是正确的，那么暗物质和暗能量也会被人发现。这两种物质被认为占宇宙中所有质量和能量的95%以上，但它们目前都无法被直接观测到。暗物质不与电磁波谱的任何部分相互作用，因此是不可见的。它的存在是从引力效应中推断出来的，尤其是星系的运动速度和通过引力透镜产生的扭曲，光凭普通物质产生的效应无法解释观测结果。同样，暗能量的存在只能从它的效应中推断出来，它的效应是加速宇宙的扩张。关于暗物质性质的一个主要假说认为，它由大质量弱相互作用粒子（简称WIMP）组成，只有通过引力和弱核力才能发挥作用。

> 人们可以将电磁波转化为声波来进行观察。20多岁时失明的天体物理学家万达·迪亚兹（Wanda Diaz）将光的曲线和数据转换成声音，以此研究伽马射线暴（宇宙中最猛烈的事件）释放的能量和光。通过聆听音调、持续时间和其他声音品质的变化，迪亚兹得以解码这种爆裂星际之光之中的规律。

这一观点在计算宇宙历史方面被证明是极其成功的。但是，到目前为止，尚未有人发现这些粒子存在的任何痕迹，这引起了科学家的怀疑。有人认为，也许暗物质是一种超流体：一种可以解释量子纠缠的玻色–爱因斯坦凝聚体，量子纠缠即爱因斯坦所说的“幽灵般的超距作用”，它是瞬时的，似乎比光快（事实上，说它存在于时间之外可能更有意义）。一些物理学家现在怀疑暗物质和暗能量实际上并不存在，并认为只有修正牛顿动力学这样的理论（认为引力不会随着距离的增大而减弱）才能够解释观测的结果。这一切只有未来的研究才能解决。几千年前，在黑暗中的人就对光的

本质感到好奇，而如今的我们也不比那时候好多少。

还有许多问题有待回答。比如，在可观测宇宙边缘之外的黑暗中有什么？是否有更多的星系无限延伸，排列成一张巨大而美丽的宇宙之网？或者，我们的宇宙和可观测宇宙一样，最终在某种意义上是有限而无界的，就像一个球体的表面一样？如果是后者这样的话，那么我们只能看到一小部分的宇宙，是众多的宇宙中的一个泡泡吗？

亨利·梭罗描述了他在11月的某天散步时的场景。就在黑夜降临之前，太阳穿过灰色的云，而这片土地，被“我们在片刻之前无法想象的光明”所笼罩，成为一个天堂。对于梭罗来说，这些同样的条件将在未来无限多的夜晚重现，这使得它更加辉煌。我们很容易与他产生共鸣：太阳在宇宙的时间范围内可能是有限的，但以人类历史的尺度来衡量是没有止境的。

“返景入深林，复照青苔上。”——王维

10月初的清晨，当我写下这篇文章时，格外明亮的阳光倾泻而下。我差不多有一个月没见过这么明亮的阳光了。我推着我大病初愈的父亲从医院的病房走到室外，父亲从无意识状态中短暂回复了意识，他说，这一切是多么美丽啊。这天，我再次感到这是最贴心、最美妙的礼物。理查德·杰弗里斯写道：“我不能理解时间，但是现在即永恒。我身处永恒之中，因为我在阳光下。”我头顶深邃的天空是19世纪艺术评论家约翰·罗斯金（John Ruskin）所说的“看得见的天堂”，我站在这样的苍穹下，希望获得未来经历阴霾岁月的力量。

海平面以下200米，这里的水被认为是可以想象到的最深的蓝色，深海科学先驱威廉·毕比（William Beebe）将它描述为“发光的黑色”。

“我们在地球的影子下度过了我们人生的一半时光，”17世纪的医生托马斯·布朗写道，“死神的兄弟又夺走了我们一生的三分之一时间。”对于我们的生活来说，睡眠意味着每一天的“死亡”，但在第二天，受我们的祖先从元古宙以来遵循的昼夜节律影响，我们醒来，晨曦是每日的恩典。来自古老的太阳的光不能使死人复活（尽管其光谱的近红外部分可以帮助治疗伤口和减轻疼痛）。终有一天，太阳也会死去。但是现在，它闪耀着光芒，让我们在其他清醒的灵魂的眼中看到光明。

对于一个光粒子，或者说光子来说，这种状态是真实的。时间静止不

动，过去，现在和未来都会坍缩成为一个永恒的时刻。

“于无尽之深林中，所有人必然迷失方向。”——爱德华·托马斯（Edward Thomas）

---

1. 这里的“紫色”（purple）和可见光谱中的“紫色”（violet）是两个概念。前者是二元色，后者是一元色。
2. 西方所认为的七大“经典行星”为月球、水星、金星、太阳、火星、木星和土星，它们并不都是今天我们所说的行星。
3. 普林斯有一张专辑及同名歌曲名为“Purple Rain”（紫色的雨）。
4. “飞鹰埃迪”即迈克尔·爱德华兹（Michael Edwards），他作为英国跳台滑雪的唯一选手参加了1988年在加拿大卡尔加里举行的冬季奥运会，排名倒数第一，因其糟糕的表现在英国乃至全世界闻名。
5. 摘自《高窗》，菲利普·拉金著，舒丹丹译，上海人民出版社，2016。
6. 1加仑≈3.785升。
7. “手性”指物体不能与其镜像相重合的性质。具有手性的物体都有左手性和右手性两个版本，两者镜像对称但不能完全重合。
8. 2019年4月10日，事件视界望远镜合作组织宣布在近邻巨椭圆星系M87的中心成功捕获世界上首张黑洞图像。

第2章
宇宙之光聚合成发光体——生命

世界虽已形成，但仍处于创造之中……现在仍是创造的早晨。

约翰·缪尔（John Muir）

生命是一种自我维持的化学系统，能够融合新事物，并经历达尔文式的进化。

杰拉尔德·乔伊斯（Gerald Joyce）

现在下着的雨，与上亿年前落在恐龙身上的古老的雨毫无二致。

尼克·科普（Nick Cope）

当灯光熄灭时，最后的观众就围坐在圆形的舞台边。剧院里到处都是热带鸟类的尿液，远处还有奇珍异兽的咆哮声。舞台边有台向内摆放的巨大风扇：铁框里的扇叶像汽车轮子一样大。在圆形舞台中，有一个身穿黑色长外套的女人把一个薄薄的塑料袋放在地上，用剪刀和胶带把塑料袋做成一个平面小人，小人的手臂是压扁的管子，头是一个小的方袋子。塑料袋的提手变成了它的腿和脚，女人用两个小硬币把它压住。然后，女人把这个塑料小人放在舞台的中心，接着风扇开始转动。在音响系统中，一支长笛在一个三全音音程间上下滑动了两次，然后向上走，又往下翻了个八度。这是德彪西的《牧神午后前奏曲》（*L'après-midi d'un faune*）的开头。竖琴、木管乐器和弦乐欲语还休般缓慢地加入长笛的奏乐声中，音乐滑过升A调，到E调再到升G调、升C调、降B调、D调最后回到E调，这时双簧管进入，发展了主题，再把它传回给长笛——这时，那个塑料小人依靠自己压着硬币的脚在风扇的微风中缓缓起身。长笛进入升C调，第四次演绎了开头的主题，与此同时第二支长笛呼应着，这个小袋子已经站起来，并开始四处走动。很快，它就像一个活泼的小矮人一样开始跳跃，向世界展示自己的舞蹈。

在接下来的几分钟里，音乐不断向前行进，并且变得越来越生动，随着一段新的旋律，整个乐队的声音越来越响亮，最后在旋绕的乐句中逐渐减弱，结束此曲。这时，女人又从口袋里掏出一个又一个塑料袋小人，就像魔术师从手帕里变出物体一样，这些塑料袋小人都膨胀起来，成为一连串

的人形队列，不断上升，在她头顶上舞蹈嬉戏。这场面有些滑稽——微风中的一些旧塑料袋不知何故与德彪西华丽、梦幻的音乐格外相衬，但它也令人着迷，它是一个奇观般的存在。

生命之初

许多创世神话都会假设存在一个超自然的“代理者”——类似魔术师或戏剧导演那样的存在，但拥有更大的力量，能用基本的材料来塑造生命。在中国古代神话中，女娲用黄土造出了第一批人。人类的英语单词“human”来源于印欧语中的“土壤”一词，“腐殖土”（humus）一词也来源于它。在希伯来语中，表示人的词“adam”来自“adamah”一词，即“土地”：《圣经》中说上帝耶和华用地上的尘土造人，将生气吹在他鼻孔里，他就成了有灵的活人。

> “我几乎从来没有触碰过泥土，但我竟然是由泥土做成的。”——安东尼奥·波尔基亚（Antonio Porchia）

如今，我们可以更具体地思考地球上的生命是由什么物质组成的。我们可以像一罐汤的外包装一样把我们自身的成分列出来，主要包括（约57%的）水，加上蛋白质、碳水化合物（即糖类）、脂质和核酸。或者我们可以根据每种原子的数量来列出我们所包含的元素成分。仅仅三种元素——氢、氧和碳就占了我们身体的93%，另外还有三种元素——氮、钙和磷占到6%。磷是这当中第一个被确定的元素。在1685年，约翰·伊夫林（John Evelyn）在日记中描述了一个从人体血液和尿液中提取磷的实验：

> 我们体内的大多数原子——约62%都是氢原子，但因为它们比其他原子小得多，所以它们只占人体质量的约10%。我们体内的原子中约有24%是氧，但它们却占人体质量的65%。碳原子约有12%，占人体体重的18%。

> 施莱尔博士给我们展示了一个奇妙的实验，先把一种非常冷的液体倒入玻璃杯中，再在上面倒上一层同样冷且清澈的液体；然后它先是产生了一团白色的云雾，然后开始沸腾，发出各种各样的火光，火焰混合着液体，伴随着小小的振动，这火光像太阳和星星一样闪烁，呈完美的球状，黏着在玻璃杯的内侧，就像天上的星座一样。这些像星星一样的火光燃烧得极为强烈，持续了很长一段时间。它似乎展示了从混沌中产生光的理论，还有将无所不在的光固定或聚集成发光体的理

论。

氢、氧、碳、氮、钙和磷这6种元素占了人体重量的99%。最后的1%主要由钾、硫、钠、氯和镁组成，而还有痕量的其他一些元素，包括铁、铜、锌、硒、镍、锰、钼和钴，这些都是微量元素。那么，这些元素是从哪里来的呢？

> 这些元素的比例小并不意味着它们不重要。例如，我们体内只有0.004 2%的铁，但如果没有它，我们就会立即死亡。

万物的故事

“如果你想做一个苹果派，”天文学家卡尔·萨根（Carl Sagan）说，“你必须先发明整个宇宙。”我们也可以加上一句：如果你想了解地球上生命的起源，你必须首先了解万物的故事。目前我们可以追溯的最古老的历史是大约138亿年前的大爆炸。那时，宇宙处于不可想象的炎热和稠密状态。夸克和其他基本粒子，如电子，在十亿分之一秒内开始形成；在百万分之一秒之后，夸克三个三个地聚集起来，形成质子和中子。大约3分钟后，在一个叫作原初核合成的过程中，这些质子和中子开始聚合成氢和氦的原子核。随着宇宙的不断膨胀和冷却，宇宙的演化开始变得越来越缓慢。在大爆炸之后的38万年，大多数电子已经被束缚在围绕这些原子核的轨道上，形成氢原子和氦原子。电子被束缚到原子中以后，光子也能够自由地活动了。宇宙产生了第一缕光，它的痕迹至今仍然可见，我们称之为宇宙微波背景。

> 大爆炸实际上可能是一次巨大的回弹（Big Bounce）。“我们的宇宙，”物理学家卡洛·罗韦利说，“可能是之前的收缩宇宙经过一个量子阶段而产生的结果，在那个量子阶段，空间和时间被分解为概率。”

数百万年后，随着宇宙进一步冷却，引力开始把恒星和星系从分子气体云中聚集起来。随着时间的推移，碳、氧、氮、铁等较重的元素在一代又一代的恒星中不断生成。在主序恒星内部的三α过程中，三个氦原子核（氦原子核由两个质子和两个中子组成）结合成一个碳原子核（由6个质子和6个中子组成），然后可能再与一个氦原子核结合，产生氧原子核（由8个质子和8个中子组成）。在恒星生命末期的爆炸阶段，它会“锻造”出原子质量越来越大的元素，一直到铁（包含26个质子，以及通常30个中子）。

宇宙微波背景是可以探测到的，它表现为整个深空中极其细微的温度差异。它是宇宙中最古老的光：是宇宙大爆炸38万年后的物质和能量分布的回声和地图。宇宙学上对它的描述类似于心理学家威廉·詹姆斯（William James）说的："雷鸣的感觉也是一种刚刚消失的沉默感。"

已知最古老的恒星，如HD 140283（被称为玛士撒拉恒星，玛士撒拉表示非常高寿的人）和SM0313，大约有136亿年的历史。

如果一颗恒星足够大，它在生命末期的坍缩会导致反弹，产生我们称为"超新星"的爆炸，它发出的光会照亮整个星系，在几周或者几个月中辐射出的能量与像太阳这样的普通恒星辐射数十亿年的能量一样多。在超新星熄灭前的短时间内，恒星的压力和温度大大超越该恒星此前的数值，并产生大量的铁元素，以及更重的元素，至少包括碘元素（包含53个质子），这也是我们知道的生命所必需的元素。磷是另一种生命中必不可少的元素，它是被称为极超新星的超级大的超新星制造的。硼——一种植物（以及许多动物）必需的元素——是宇宙射线撞击更重的元素，使其分裂而产生的，宇宙射线是宇宙中已知的能量最高的粒子，它来自能量最高的大规模爆炸。金，这种大家都想得到但并非生命必需的元素，可能是在中子星的超猛烈碰撞中产生的，金是宇宙不存在黑洞的情况下，密度最高的东西。

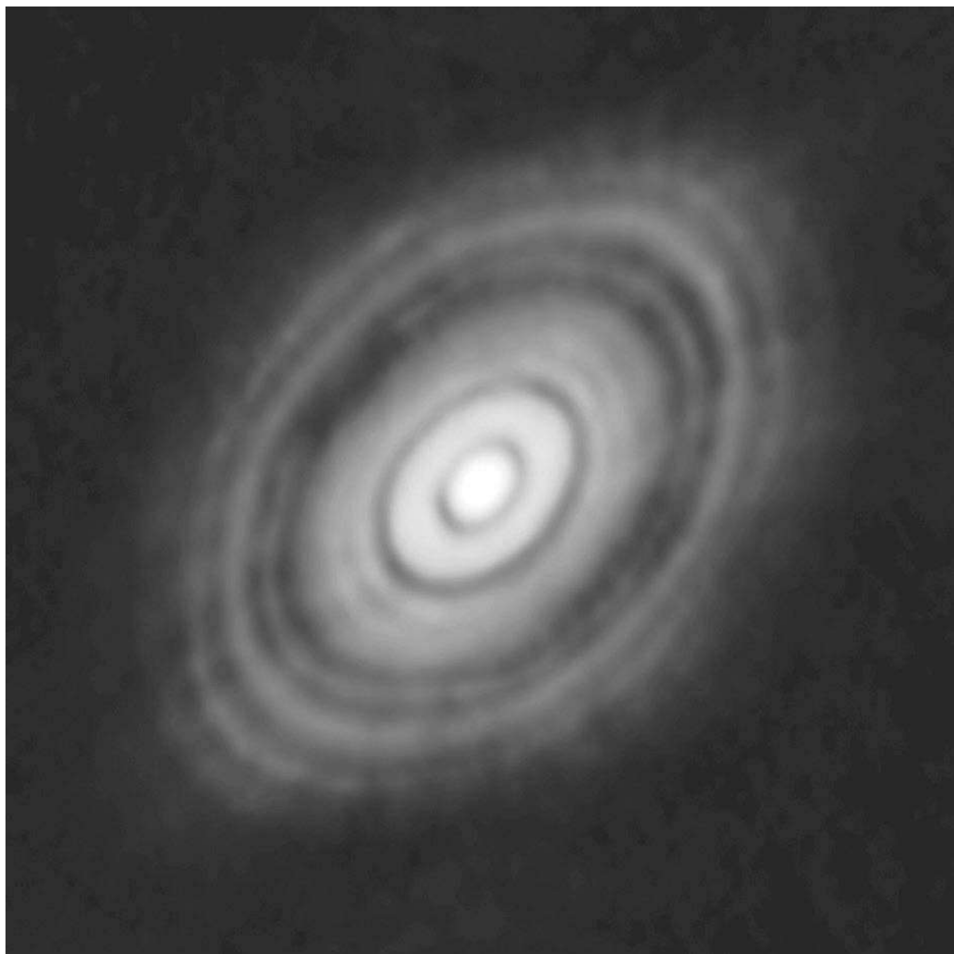
超新星和极超新星爆炸时，会把它们在太空中制造的元素投到星际介质中。星际介质是一种主要是氢和氦组成的"雾"，也有约1%的成分是重原子。这种"雾"是稀薄的——大约每立方厘米里只有一个原子，比地球上创造出的任何"真空"都更为稀薄——但它比星系之间的空间密度高出10万倍。在分子云中相对密集的地方，这些化学成分开始相互作用，有时会聚集成足够的物质，使其坍缩成新一代的恒星和行星。

地球的故事大约是从46亿年前开始的，当时太阳系中不属于太阳的0.04%的质量形成了一团尘埃。令人惊讶的是，天文学家最近拍摄到了一张原行星盘图，看起来就像那时候的太阳系。这个金牛座HL原行星盘距离地球约4.5亿光年，只有大约100万年的历史（就我们目前所见），但它的盘中似乎已经充满了正在形成的行星。原始地球最初也是在这样一个盘上，从残骸中形成的，然后形成一个与金星大小差不多，即比地球小一点的行星。然后，数千万年后，根据"大碰撞假说"——另一个火星大小的行星，天文学家给它取名为"忒伊亚"（古希腊女神，她是月亮女神的母亲）撞击了地球，现在人们认为这是一次正面碰撞，而非轻微一击。一个有地球目前质

量十分之一的行星撞击地球，它所释放出的能量比消灭恐龙的奇克苏鲁伯撞击所产生的能量还要高出一亿倍，这足以将两个行星熔化并混合在一起。要感受这场碰撞的猛烈程度，可以想想罗伯特·德尼罗（Robert De Niro）在《愤怒的公牛》（*Raging Bull*）中饰演的杰克·拉莫塔（Jake La Motta）所面对的拳头。撞击中有一大块碎片洒向太空形成了月球，而其余的碎片则因为引力而迅速恢复其球形形状。然而，这一撞击使地球的自转轴倾斜到23.5°，最终导致了我们所知道的高纬度地区的季节变化。

1 H		大爆炸聚合					宇宙射线聚合										2 He
3 Li	4 Be	中子星并合					大质量恒星爆炸					5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	小质量恒星死亡					白矮星爆炸					13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	28 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xa
55 Ca	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	76 Pt	79 Au	80 Hg	81 Ti	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	88 Rn
87 Fr	88 Ra																
			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
			89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U											

我们太阳系中的元素是由坍缩、并合和喷出物质的恒星以及爆炸的恒星所产生的

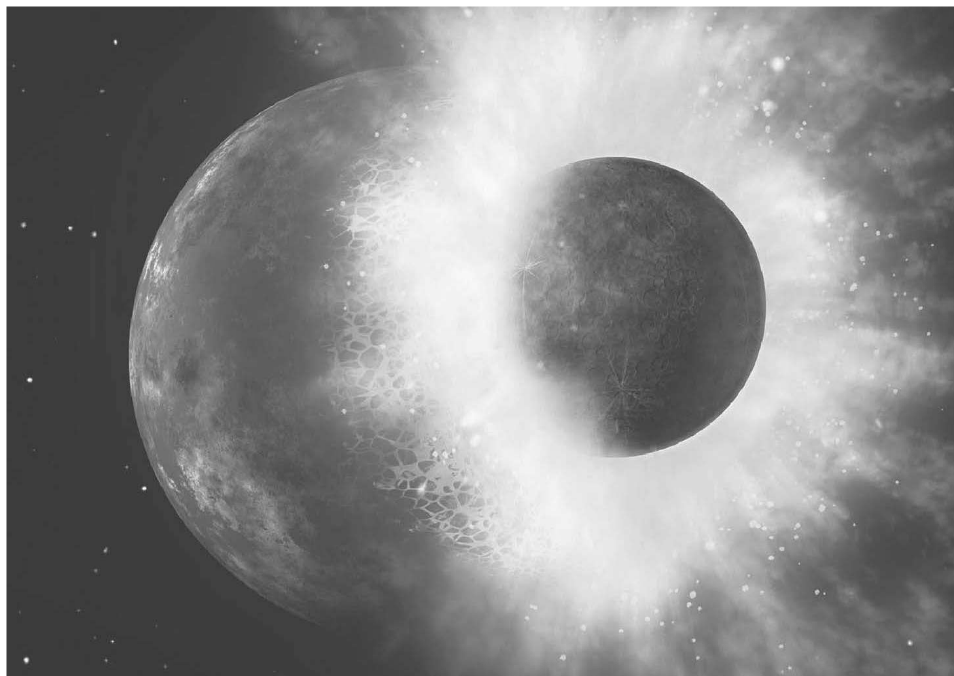


金牛座**HL**周围的原行星盘

所有这些都发生在地球历史的第一阶段，即45.4亿到40亿年前的冥古宙（Hadean）时期。这个词，许多人都知道来自古希腊语中表示冥界和掌管冥界的神哈得斯（Hades），实际上本意源于“看不见的”这个词。这个意思用在这里特别合适，因为这段漫长的时间并没有留下什么可见的痕迹。然而，看不见并不意味着完全不可知，研究人员可以对这段时间里发生的重大变化做出合理的假设，从而得到合理的推论。他们将这个阶段细分为普罗克汝斯忒斯期（Procrustean）和普罗米修斯期（Promethean）。根据这些推论制作的精细动画和虚拟现实作品，其震慑力不亚于特伦斯·马利克（Terrence Malick）的《时间之旅》（*Voyage of Time*）和维尔纳·赫尔佐克的《地狱之旅》（*Into the Inferno*）等纪录片。



“大地的岩石：雷声，在深渊中回响，咆哮着作为回应；炽烈的闪电在空中扭曲并闪光。天空和海上的愤怒难以分辨。”——埃斯库罗斯，《被缚的普罗米修斯》



假想中“忒伊亚”与地球的撞击

最初，经过重塑的地球周围环绕着一团致密的岩石蒸汽，但是几千年后它们就冷却并凝固了，而在1 000万年之后这颗行星本身已经冷却到足以让岩石形成固体表面，这一表面大部分被液态水覆盖，周围环绕着一层主要由氮气和二氧化碳组成的大气。但地球依旧没有获得平静。在大约在41亿到38亿年前的一个被称为“晚期重轰击期”的阶段，地球可能一直在被各种大小的星子反复地击中。这些星子中大约有上千颗直径在20千米左右，比忒伊亚小得多，但比奇克苏鲁伯大得多。一些行星的直径可能有500千米甚至更大，它们大到足以使地球岩石表面上的巨大区域和大部分甚至全部海洋蒸发掉，只留下熔融的盐。如果透过烟尘滚滚的大气层看到这一景象，那景象可能就像是托弗·扬松（Tove Jansson）在《姆明谷的彗星》中描绘的，姆明和他的朋友们看到海洋被烧干后，海床上的荒凉景象一样。但是，每次撞击之后的几千年里，大气层会再次冷却，而难以想象的高强度降雨会重新填满海洋。

月亮从地球上脱离后，在不断地绕着地球转的同时，离地球距离越来越远。目前，它和地球的距离约为384 400千米，并以每年3.8厘米的速度向后退，这意味着自阿波罗登月以来，它已经向后退了约2米。如果月球突然消失，目前地球赤道区域受到它吸引的许多水将被重新分配到极地地区，地球的自转将变得更加不稳定，这将对区域的气候产生剧烈影响。

我们对生命起源的看法，就像晚期冥古宙或早期太古宙时代（冥古宙之后紧接着的时代）的天空一样朦胧。但是有一点是肯定的，在大约40亿年前踏上这个星球一定会是一次相当别致的经历。那时候，地球的旋转速度比今天快得多，白天只有五六个小时，因为大气中充满了烟尘，所以很少能看到星星，但壮观的流星经常在天空中呼啸而过。透过层层烟雾可以看见太阳发出的微弱的光。月球距离地球只有现在约三分之一的距离，它看起来特别巨大，直径几乎是现在的3倍，面积是今天的8倍。

2010年芬兰世界桑拿浴比赛（次年这项比赛就被取消了）的起始温度为110℃。每30秒就有一升的水倒到炉子上，获胜的选手需要在里面待得最久且能在不借助外界帮助的情况下自己走出来。此外，赛前和比赛期间禁止饮酒。

想象一下，你此刻站在一座火山岛的岩石海岸上。这时温度约为70℃左右，空气比死亡谷更热，但比桑拿凉快点儿。大气中的主要成分是氮气和二氧化碳。你需要一个冷却和呼吸装置。你可以看到在远处有许多岛屿从海上升起，其中一些是活火山。你脚下的岩石由黑色的熔岩组成，裂缝里填满了火山灰。附近有温泉。海水因为含有未氧化的铁而呈绿色。熔岩岩石上的白色沉积物显示那里曾经有小小的潮池，但已经蒸发了。在海滩几米之上的淡水池塘里，有雨水不断地从山坡上倾泻而下，然后在炎热的天气中快速干涸。突然间，一道耀眼的白光静静地穿过天空，照亮了眼前的所有景象，然后落在地平线另一端的海里。一颗直径大约100米的小行星以每秒20千米的速度穿过大气层，坠入几英里[注]外的海洋——每天都会发生许多这样的撞击事件。海洋上的一条细细的黑线向你逼近，那是行星撞击引发的海啸。如果你能跑到更高的地方，逃离洪灾，你可以见证在巨型月亮的牵引下形成的高达100米甚至更高的巨型潮汐。

水

南·谢泼德（Nan Shepherd）在《山居吟》（*Living in the Mountain*）这本

在20世纪40年代创作于凯恩戈姆山的冥想之作中写道："像所有深奥的秘密一样，水简单得使我害怕。它从岩石中涌出，流走了。在无数的岁月里，它从岩石中涌出，流走了。它什么也不做，什么都不做，只是做自己。"谢泼德的观点是非常独到的，但在这一段文字中，她忽略了水的一个关键属性。尽管水似乎在不断地流动，似乎对我们的存在漠不关心，但实际上它参与了一切。

塞缪尔·泰勒·柯勒律治（Samuel Taylor Coleridge，1772—1834）由德文郡的奥特河回忆起了自己的童年时代生活，他将回忆的过程中心灵的自我体验比作划蝽[注]在池塘水面滑行。事实上，他这个比喻还有他自己都不知道的贴切之处。正常的人脑位于一个脑脊液组成的"泡泡"里，脑脊液的成分中99%都是水，因此人脑处于中性浮力[注]之中。我们的思想，就像划蝽一样，悬浮在水中。

> "请注意……这只小动物是如何通过交替的主动和被动的运动来逆流而上的，它时而对抗着水流，时而又顺从着水流，以获得更多的力量和某个瞬间的支点来驱动自己前进。"

正是因为水有着特殊的性质，昆虫和人类才都能存在。而水的这一特殊性质，来自水分子的原子构型。一个较大的氧原子结合两个较小的氢原子，就像米老鼠和它的双耳一样。氧原子从两个氢原子中各借来了一个电子，带有更多的负电荷，而氢原子则带更多的正电荷。其结果是分子带有了负电极和正电极（分别位于米老鼠的下巴和耳朵），从而倾向于互相结合，负极与正极相靠拢。这种分子间的结合是一些现象的成因，如表面张力现象，它让虫子在水面行走成为可能，还产生了毛细现象，使得植物和树木能够沿着树干传送树液。它也有助于地球上快速的大气水循环，因为它能将雨滴聚集在一起。它也是冰块如此坚硬的原因。

> 非极性的挥发性分子，比如土卫六上的甲烷和金星上的二氧化碳，不能形成水滴，所谓的"雨"在那里不存在，而会形成一种持续的、阴沉的薄雾，就像是2月份英格兰的天气，不过比英格兰的天气要迷人一些。

水分子喜欢相互结合，但当它们与许多其他物质的分子混合在一起时，它们则会表现出另一个显著的特性：成为一种极好的溶剂。每个分子的正负两端都会附着在其他分子的带电原子（离子）上。糖或盐等熟悉物质的溶解发生得比较快，但水也能在长期的作用中溶解岩石，在人类所认为的漫

长的时间内缓慢地把岩石带走。这种无可匹敌的溶解和运输其他化学物质的能力，使水成为生命形成和演化的理想介质。

“除却风与海洋，一切都是暂时的。羽翼一振，万物皆逝。”——凯瑟琳·杰米（Kathleen Jamie）

水的起源在谢泼德时代还是一个谜，直到20世纪80年代，天文学家才知道它是如何产生的，以及它在宇宙中的分布。现在我们知道水是恒星形成过程中产生的一种丰富的副产品。恒星形成过程伴随着一股强烈的气体和尘埃的涌出，这会产生冲击波，压缩和加热周围的星际介质，将介质的原子成分结合成水分子（两份氢，一份氧）。这种新产生的水几乎可以无限期地存在于太空中，或者参与新恒星及其周围行星的形成。一些研究表明，地球上一半以上的水比太阳系本身还要古老。每一滴雨水中有一半的分子可能比太阳的年龄还大。

在过去的几十年里，天文学家发现太空中几乎处处都有水。在非常明亮的红外星系APM 08279＋5255里围绕着一颗类星体的一团水（围绕着一个巨大的黑洞），其总量是地球上所有海洋里水的总和的140万亿倍。我们银河系中的猎户座星云每天创造出的水足够填满60个地球的海洋。水还存在于恒星之间的巨大分子云中，存在于恒星周围的尘埃行星盘中，以及（被认为）在数十亿颗围绕其他恒星运行的被称为系外行星的行星中。尽管这些系外行星中的许多都比地球大得多，但也有相当一部分可能和地球差不多大，它们表面的大部分甚至全部覆盖着水，要么处于冰冻的固态，要么形成数十甚至数百千米深的全球性的海洋。

太阳系的外行星和它们的卫星中都含有丰富的水。木星、土星、天王星和海王星稠密的大气层中都含有大量水蒸气。木卫二和木卫四有上千米厚的冰壳，下面还有水组成的海洋，围绕着岩石核心。土星的光环几乎完全是由水冰碎片构成的，它一直在转动并捕捉光线。土卫二也被寒冰覆盖，但是在这片冰层的下面是一个海洋。土卫二受到巨大的行星的引力撕扯，产生的热量把冰加热成流动水，并通过间歇泉破开表层冰面将液态水喷射到太空中。水要么落回地面，要么冲上天空，形成土星的E环。天卫五是天王星五颗卫星中最小、最靠近内侧的一颗，主要由水构成。它有高达5千米的冰崖，为太阳系中之最。

2015年，卡西尼号航天器飞越土卫二上的水柱，发现它们富含分子氢，这表明土卫二冰层下的海洋中可能有微生物的存在。

冥王星和它最大的卫星冥卫一，像舞池里的一对情侣一样，围绕着一个共同的中心舞蹈。它们表面的崎岖景观，令天文学家在2015年第一次看到它们时惊讶不已。在冥王星上，岩石般坚硬的水冰漂浮在像牛奶果冻一样相对柔软的、糊状的氮冰川上。（在表面之下，可能有100千米深的咸水海洋。）不同于它们名字中的意味，冥王星和冥卫一不是死亡的幻境（“死亡”听起来意味着它们上面曾有过生命），而是一个生命从未踏足的世界。这不像阿喀琉斯在冥府的灵魂对活着的奥德修斯所描述的被束缚的非死亡状态，也不是菲利普·普尔曼在《琥珀望远镜》（*Amber Spyglass*）中所说的可怕地狱，只是一个纯粹的世界：宁静且简单。

太阳系内部大部分岩石行星表面的水都很稀少——不过，令人惊讶的是，水星的南极和北极有冰，它们存在于陨石坑的永久阴影中，避开了白天超过400摄氏度的高温。金星可能曾经拥有丰富的水，但几乎在很久以前的温室效应中蒸发殆尽。火星的北半球曾经被一个巨大的海洋所覆盖。陨石撞击它时，会产生超过120米的海啸，席卷整个海岸。但是，就我们所知，海洋在数十亿年前蒸发到太空中，现在火星上的水几乎全是冰。1666年，乔瓦尼·卡西尼（Giovanni Cassini）首次发现火星两极的冰冠，其体积比格陵兰冰冠的体积要大一点。高纬度地区地表以下也有大量的冰，在中部地区也有零星的表面冰，赤道附近有一小块冰冻的海洋，体积相当于地球的北海。火星也有一些冰川，但2015年发现的流动的液态水似乎仅限于陨石坑壁和沟壑中的一些浓盐水。在大多数情况下，这些地方都是干燥的峡谷和陨石坑，充满了岩石和灰尘。唯一的海洋是沙海。

除了地球之外，太阳系中唯一已知表面有大量液体的天体是土卫六，它是土星最大的卫星。但是它的湖泊和海洋中的液体是甲烷、乙烷和丙烷，在–179℃挥发，并且可能不时地喷发出大量的气泡。

当然，地球在太阳系中是独一无二的——它的地表70%的面积都被平均4千米深的液态水所覆盖。对于生命来说，只有地球是宜居的，金星太热，火星太小。但是地球表面的水只是地球适宜生命居住的原因之一。在行星的内部和其他部分存在的水在生命起源中也扮演着重要的角色。

虽然降临地球的彗星和小行星带来了一些水，但是水很可能从地球形成开始就存在了。在地下的水通过火山爆发来到地表。不过，我们身边的一部分水也是被持续生产出来的。地幔深处的气压约为2万大气压，温度约为1 400℃左右，人们认为在这种条件下二氧化硅与液态氢离子发生反应，形成硅氢化物和液态水，然后在地震中喷射出来。

1635年，耶稣会的一名牧师兼学者阿塔纳修斯·基歇尔在访问马耳他时，被该岛的内海所吸引，特别是它的洞穴和深入岩石的长且弯曲的自然通道。1638年，基歇尔在返回罗马途经西西里岛时，也目睹了一些现象。这连同他在马耳他的经历，共同塑造了他的人生观。在穿过墨西拿海峡的航行中，他的队伍遇到了一个漩涡，基歇尔形容其为“巨大的空洞”，随后他们备受惊讶地看着眼前的景象：埃特纳火山散发出滚滚烟雾，完全遮蔽了整座岛屿。基歇尔他们上岸后，听到一种类似“无数战车猛烈向前推进”的声音，很快就被“最可怕的地震”甩到了地上。在“到处都是废墟”的情况下，基歇尔和他的队伍继续沿着海岸线航行，发现“只有恐怖的场面”，看到斯特龙博利火山岛喷出火焰，发出隆隆的轰鸣声，即使是在100千米外的地方，也听得清楚。这些可怕的事件导致成千上万的人死亡，却增加了基歇尔对“地下自然奇迹”的迷恋，他认为他在马耳他和西西里分别见过的现象，可能是联系在一起的。

基歇尔后来成了一位博学的“百艺大师”，他还设计了一台猫钢琴，通过拉伸不同的猫的尾巴来弹奏不同的音符。但他最伟大的成就是1665年出版的《地下世界》（*The Mundus Subterraneus*），这是一部奇特而美丽的作品，其中一部分内容是他提出的一个理论，阐述了地球的深层运作原理。基歇尔提出，火山活动是由“空洞的房间和隐藏的洞穴”中的大火向地球的核心循环造成的。火山是“喷火的洞穴，或是大自然的呼吸管”。此外，他还说，潮汐将大量的水通过多条“海洋底部的隐蔽和神秘的通道”强行推进至“地球的深处”。他说，在挪威海岸外的某个地方，海水进入一个大漩涡中，然后穿过地球，途中被冷却并注入了营养物质，然后通过南极的一个新的开口被排出。不止一次，基歇尔不止一次地将地球上的水的运动同与他同时代的医生威廉·哈维（William Harvey）所描述的体内的血液循环联系在一起。

> 在挪威海岸外的罗弗敦群岛附近有一个漩涡系统，称为默斯肯漩涡，这在奥劳斯·芒努斯（Olaus Magnus）1539年绘制的《北欧诸国海洋地图》（*Carta Marina*）和埃德加·爱伦·坡（Edgar Allan Poe）1841年创作的小说《默斯肯漩涡沉溺记》（A Descent into the Maelström）中都有记载。它是世界上最强大的漩涡系统之一，但没有爱伦·坡想象的那样强大。它也没有像基歇尔所说的那样，把大海抽干。

尽管基歇尔的描述在许多具体方面都有很大的错误（例如，水并没有在地球内部以巨大的水流奔流），他却在正确的认识方向上迈出了一大步。同一板块边界的火山，如埃特纳和斯特龙博利火山，都是相连的。在过去的几十年里，科学家已经证明，在地质时间尺度上，水会从地壳底部来到地

幔中。有一到三个海洋容积的水存在于过渡带的岩石中，大约在地表以下400~650千米处（也许更深），那里的气压超过10万个大气压，温度可达1 000℃。当一个大陆板块滑到另一个板块下方（被称为“俯冲”）时，带过去的水会使岩石更加黏稠，好像把液体倒入蛋糕混合物中一样。我们将在本章后面看到，这一过程与地球上生命的起源和生存密切相连。

9 000万年前，巴西一座火山喷发出一颗钻石，这颗钻石似乎是在1 000千米以下的水中形成的。

地表以下3 000千米处是地核：这里充满了液态金属，包裹着一个由固体铁和镍组成的、比月球略小的超致密球体，其中包含大量的铁晶体，有的长达100千米。

你必须走得足够深，才能到达一个没有水的地方。哪怕是乍一看像骨头一样干燥的月亮（事实上比骨头要干燥多了，骨头还含有20%的水），它的表面附近也有足够的水供NASA和其他机构研究如何开采，以便为未来的任务提取氧气和氢燃料。不过，在1989年的动画短片《超级无敌掌门狗：月球野餐记》中，华莱士和狗狗阿高对月球表面取样调查，发现在月球的风化层中存在的类似温斯利代干酪和其他奶酪的这一“研究结果”依然无法解释。

碳

如果水是生命的理想介质，那么就我们所知，大致来讲，碳就是生命本身。根本原因之一在于碳的用途非常广泛：碳非常独特，碳原子之间能相互连接，也能与其他元素（特别是氢、氧、氮和硫）的原子相连，每个碳原子可以形成4个共价键。水结成的冰总是形成相同的晶体结构，但在很宽泛的温度范围内，碳原子可以形成长链，可以形成相互交错的环，或者更复杂的分支排列——几乎可以形成任何形状，而这些都可以成为具有不同性质的分子的基础。已知的碳结构大约有1 000万种——从可以被制成钻石的晶体（这也是最坚硬的物质之一），到柔软得近乎油腻的石墨——这只是理论上碳可以形成的化学物质的一小部分。在生物体中，碳是氨基酸、蛋白质、碳水化合物和脂类的骨架。与碳的多变相比，德彪西音乐中多种多样的衔接就显得苍白了。

地球上所有的碳元素都是在数十亿年前的恒星中由较轻的元素锻造而成的，这是几十年来大家公认的事实。但是过去几年里最非凡的发现之一告

诉我们，可以作为生命基石的富含碳原子的分子在宇宙中的分布相当广泛。例如，太空中超过20%的碳元素被认为与多环芳烃（PAH）有关，多环芳烃的特征结构是6个碳原子连锁形成的环。多环芳烃广泛存在于星际尘埃中，可能在大爆炸后不久就开始形成了。与此同时，银河系等星系所在的区域富含甲酸乙酯，这种碳基分子正是树莓和朗姆酒的独特气味的来源。研究人员在2012年发现，在与新恒星和系外行星相关的条件下，多环芳烃可以转化为更复杂的氨基酸和核苷酸的前体——氨基酸与核苷酸是组成蛋白质与DNA（脱氧核糖核酸）的原材料，后者是生命不可或缺的分子。2012年，天文学家在距离地球约400光年的双星系统中发现了一种名为糖醛的糖。糖醛是一种糖分子，能够形成RNA（核糖核酸），RNA可能是DNA的前体。2014年，研究人员发现了第一个具有分支结构的富含碳的分子的星际介质。研究人员表示，这一发现预示着宇宙中存在氨基酸，因为分支结构是氨基酸决定性的特征。而在2015年，NASA的科学家宣布，在陨石中发现了碳和氮组成的环形分子——吡啶的样品，吡啶在高能紫外线作用下能转化为DNA的三个关键组成部分。

秩序的出现

生命不仅仅是一组化学物质，无论化学物质有多重要。即使是最简单的生物，如细菌细胞，都有令人难以置信的复杂结构。在无数不同的、相互依赖的化学反应中，数以百万计的分子之间发生着错综复杂的相互作用。如果没有外部组织力量的帮助，生命怎么可能会自发诞生呢？另一个难题是，乍一看，生命似乎与热力学第二定律相矛盾。热力学第二定律是物理学的一个基本原理，即随着时间的推移，一切都会变得更加混乱：咖啡变冷，花朵枯萎，时间粉碎我们的梦想，袜子总是会不翼而飞，即使你很确定自己就把它们放这儿了。那么，生命是如何通过新生命的生成、成长和进化而不断地自我更新的呢？

> “生命自我形成的过程似乎违背了我们对物理学定律的直觉期望，即所有东西基本上都变得更加无序。”——戴维·迪默（David Deamer）

除了袜子之外，这些问题都有很好的解答。就复杂性和秩序而言，事实是，在适当的条件下，相对简单的部分会相互作用和自我组织，产生新颖复杂的模式、过程和行为，而这些行为并不一定能从各个部分得到预测。此外，热力学第二定律表面上的矛盾实际上是促进其行动的一种方式。新的、更复杂和有序的模式、过程和行为通过在自身内部建立一个局部的秩序来维持自身，而代价是在更广范围的环境中造成更大的混乱。就像避税港一样，但这是一种有益的现象。这种现象叫作“涌现”（emergence）。

这样的说法听起来很简单，但在很多情况下，涌现的本质实际上并没有被很好地理解。但我打赌，就像伟大的音乐一样，当它被更好地解释时，对于我们中的许多人来说，它仍然是令人惊异且精妙绝伦的。

> 一些研究人员说，有一天，“涌现”可能会成为一种物理定律。罗伯特·黑曾（Robert Hazen）认为这可能是沿着$C \geq \Sigma$ [n, i, ΔE (t)]形成的规律。不管怎么说，涌现现象一直在发生，而且它具有物理学家弗兰克·维尔切克所认为的物理定律美妙丰富的生产力。

在宇宙中几乎所有可想象的尺度上，模式和复杂性都在非生命系统中涌现出来。在数十亿年的时间里，星系趋向于变得更加有序，它们的旋转速度增大，组成物质就形成了一个旋转的圆盘。在地球上，在适当的条件下，上百万片雪花可以在数秒到数分钟内自发形成，水蒸气凝华而成的微小冰晶在寒冷的空气中形成了六重对称的形状，通常围绕着像尘埃这样的微小颗粒。与普遍直觉相反，新形成的冰实际上比其周围的环境更热，因为凝固（凝华）会释放热量。按照热力学第二定律，热量“想要”尽可能快地消散。新的晶体在那些热量消散最快的地方凝结得最快，而这些地方往往是六边形的边角。这就产生了正反馈：在晶体上生长最快的位置变得更加尖利，这样就能更好地从这些地方转移热量，使它们能够生长得更快。结构上轻微的不规则之处，以及雪花飘落时空气中的湿度和温度的变化，使得雪花能够形成几乎任何形状。

> 冰晶是六角形的，因为单个分子的形状像四面体。当水冻结时，这些四面体更紧密地结合在一起，结晶成一种六角形结构。

有图案的地面是非生物系统中涌现新秩序的另一个例子。土壤、碎石和石头都是由多边形、圆形和其他有趣的形状结合成的，通常是通过冻结和解冻的循环周期形成的。同样引人注目的是在地球上、火星上以及在宇宙的其他地方都存在的一种景物——在风作用下出现的各种各样，又有相似之处的沙丘。它们的不同名字暗示了它们的美：圆屋顶、新月形、横脊状、线性、纵向、反转、星形、床单状、条纹、阴影、弓形、抛物线形、攀升和坠落状、回声状和反射形。在地球上，沙丘可以达到惊人的大小。在中国的巴丹吉林沙漠中，有许多沙丘高达200～300米，最高超过460米。

研究生命起源的矿物学家兼天体生物学家罗伯特·黑曾指出，非生命物质中要想涌现出简单且规则，但时常令人惊叹的模式，有四个因素是必要的。首先，必须有浓度：单个粒子必须有足够的数量。浓度在一个临界阈值以下，就不会出现任何模式。随着粒子浓度的增加，复杂性也会增加，但只

会增加到一个固定的水平。其次，系统中必须有能量流动：例如，在海滩上形成线条的沙砾，如果没有一定的最小波速，就不会开始移动，不过每一个复杂的图案系统也对它所能承受的最大能量流有一定的限制。第三，复杂的模式往往倾向于出现在有能量流循环的时候，如结冰/融化、潮湿/干燥或白天/夜晚的情况。第四，粒子要能相互作用。沙粒以非常简单的方式做到了这一点，比如粘连或不粘连在一起，而更复杂的涌现系统的各部分则有更多的连接和相互作用的方式。



火星表面的赫勒斯蓬塔斯地区的新月形沙丘，每个都大约有**60**米宽

不过，一个涌现系统的各个部分之间的连接方式并不一定要特别多，而且它们相互作用的复杂性并不一定要非常大，就能发生值得注意的事情。这在一个叫作“生命游戏”的计算机程序中很清楚地显示出来。通过**5**条简单的规则来控制网格上的方块的状态，生命游戏就能产生多种动态模式，表现出不同寻常的行为——这是一种能自我执行的魔术。“滑翔器”在屏幕上平稳运行，“吃食者”会吃掉所有的“滑翔器”，“增殖者”得以越长越大，并越来越快地复制自己。模式甚至可以包含一个通用的图灵机和一个通用的构造函数，这意味着它们可以处理信息和任何计算机的数据，并建立自己或其他模式的副本。

生命的游戏依赖于一个外部的代理者构建其赖以运行的计算机（或者用围棋的棋盘和棋子，其实这个游戏最初就在围棋棋盘上进行的）。代理者还必须编写和运行规则或程序。但是，如果我们周围的物质世界并不受一个

外部代理者或程序员的控制，那么这些部分就必须结合在一起，并相互作用。

> 网格上的单元要么是活着的（开），要么是死的（关）。5条规则如下：相邻细胞无一活着或只有1个活着的细胞死亡；相邻细胞中有2个或3个活着的细胞仍然活着；相邻细胞中有4个或更多个活着的细胞死亡；有3个相邻活细胞的死细胞会复活；在其他情况下，死细胞依旧是死细胞。

有一些人一直以来受到的教育都告诉他们存在一个外部的造物主，对他们来说，大自然可以自我组织，甚至达到产生生命的程度的这一想法可能令他们感到不安，且难以置信。相比之下，对于另一些从小接受模式和过程都固有存在的观念的人来说，这样的想法就比较好理解了。（老子说：大道无形，生育天地；大道无情，运行日月；大道无名，长养万物。）对于任何已知现象，科学家们通常倾向于选择最简单的解释，直到它被证明是错误的，因此他们倾向于持生命起源于自我组织的观点。以下是科学家在过去几十年里发展起来，用于探索和检验地球上的生命是如何出现的部分假说。

> “非平衡态热力学的研究似乎在告诉我们……像早期地球这样的行星上生命的出现，有了大量诸如阳光和火山活动这样的能量来源使大量物质脱离平衡状态，一开始看起来仅仅并非完全不可能，实际上则是不可避免的。”——菲利普·鲍尔（Philip Ball）

生命的第一迹象

什么时候开始有生命的？目前，大多数人都认为地球上生命的诞生不会早于35亿年前，大约在冥古宙结束后，进入太古宙的5亿年后。然而，最近十年来，基于与生命有关的化学特征的证据表明，早在38亿~42亿年前地球上就存在生命迹象了。如果这个关于生命出现的最早时间被证明是正确的，那么就意味着生命的出现——或者是重新出现——很可能发生在晚期重轰击将地球表面毁得寸草不生后的短时间内。这就提出了一个有趣的可能性，即在合适的条件下，（简单）生命的出现几乎是不可避免的。

地球上的每种生物都有着相同的化学成分，可以追溯到最后一个普遍的共同祖先（Last Universal Common Ancestor，简称LUCA），据估计它大约生活在35亿~38亿年前。但是LUCA可能已经是一个相当复杂的有机体，

而就像现代的细菌一样，它一定是从简单的结构开始进化的。此外，LUCA（或它的任何祖先）可能并不孤单。最初的生命可能有许多起源和多种形式，而不是一下子就突然诞生了，而且生命会在数百万年中以不同的形式一再出现以及演变，在第一次物种大灭绝事件中，所有的一切被消灭殆尽，我们今天看到的共同祖先就出现了。

> 从极端还原论的角度，诺贝尔物理学奖获得者奥尔贝特·圣–哲尔吉（Albert Szent-Györgyi）说："生命不过是一颗电子寻找栖息之所而已。"地质学家和化学家迈克尔·拉塞尔（Michael Russell）曾经说："生命的'目的'在于让二氧化碳与氢化合。"物理学家肖恩·卡罗尔（Sean Carroll）说："每一个有机体……都增加了宇宙的熵。"热门视频系列"长话短说"（Kurzgesagt）认为，生命是"创造新模式的开放性"。

生命是什么？这个问题的答案取决于你怎么定义生命。在许多我看过的定义中，研究者杰拉尔德·乔伊斯的观点，我认为是不错的。他说："生命是一种自我维持的化学系统，能够融合新事物，并经历达尔文式的进化。"但是，无论是接受还是否定这个定义，科学家一致认为，我们所知道的所有生物——也许是所有我们能想象到的可以被描述为"活着"的东西至少有三个属性：一个存在于内外部世界之间的物理界面；储存（和改变）信息的能力；新陈代谢，即提取和使用能量维持机能和生长的能力。

> 有人列出了地球上所有生命共有的6个基本属性：（1）区室化结构——一种细胞一样的结构，将内部与外部分离；（2）遗传物质——RNA、DNA或其他特定形式和功能的物质；（3）加速和引导各类反应的催化剂；（4）代谢反应；驱动新陈代谢生物化学反应，促进新的蛋白质、DNA等物质形成的自由能；（5）连续供应的用来合成新有机物的有反应活性的碳；（6）废物的排泄。

生命是如何产生的？好消息是，目前关于这方面的理论越来越全面。每种理论都很优美，并充满奇迹。此外，在未来几年里将进行的实验，很有可能会产生对地球上生命起源的有力而持久的解释。基于此，应该补充一条，生命只有在成为一个更大的系统并与之相互作用才能存在。

以生命系统如何第一次获得细胞界面之谜为例。细胞内部大部分是水，大多数细胞外部也被水包围着。这是有道理的，因为水是运输其他分子的良好介质，但它存在一个问题，因为水同时也是一种很好的溶剂，容易吸收并带走复杂系统所需的成分。为了使自己不至于每次下雨时都被溶解，生

命系统找到了一个解决的方案，创造出被称为脂双层的细胞膜来包裹细胞，已知的所有细胞都有这种膜。脂双层与肥皂泡有一些相似之处，例如，和肥皂泡一样，它们可以自行组装，但脂双层比肥皂泡更坚固，并且能够产生微小的通道让物质进入和离开细胞。

研究人员发现，构成脂双层的分子存在于在冥古宙时期大量落在地球上的碳质陨石中。

研究人员从今天掉落的陨石中提取出同样的化合物（尽管它们最近才来到地球，但同样古老），它们在早期地球那样的条件下会自发地聚集在一起。它们可能是第一批细胞界面的来源，形成了所有生物的共同祖先的囊泡，即小容器。如果是这样的话，那么你体内的几十万亿个细胞都有的膜结构，其成分来自天上掉下来的陨石。

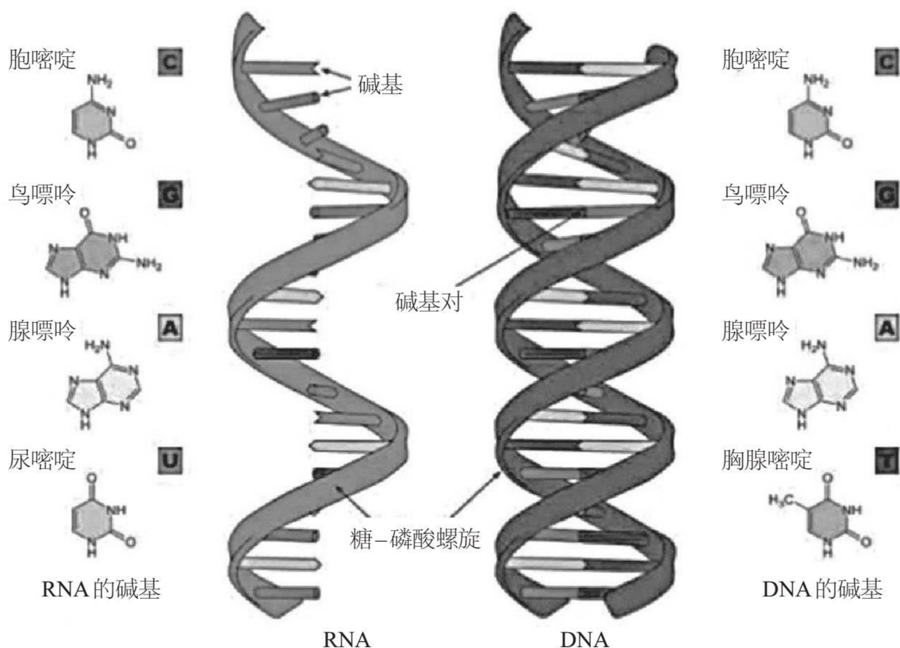
生物化学家皮尔·路易吉·路易西（Pier Luigi Luisi）及其同事已经证明，脂质小囊泡是可以生长的，它们可以逐渐从溶液中吸收新的脂质分子，而且它们是自催化的——也就是说，它们自身可以作为模板，从而触发更多的囊泡形成，并以一种自我复制的方式分裂。

我的一个朋友告诉我，有一天，在爱尔兰的一条乡间小路上，她逆着强风骑车精疲力竭的时候，一位和蔼的驾车者注意到了她的苦恼，停下来问她有什么不方便。我的朋友向他道谢，并解释道只是风的问题。司机停了一会儿，朝两个方向望去，眼睛眨了一下，说："那你为什么不往反方向走呢？"恐怕有些读者会觉得接下来的几段有点难，但我还是鼓励大家继续读下去，你的不放弃终将给你带来收获……

生命如何发展出存储和部署信息的能力，可能比它最初如何获得边界的问题更加让人困惑。在现今所有的生命中，都是DNA，即脱氧核糖核酸来起到这样的作用，但是DNA ——著名的双螺旋——是一种巨大且相当复杂的分子，它一定是由更简单的成分演化而成的。

大多数研究人员认为，DNA是在一个利用RNA，即核糖核酸来储存遗传信息并作为催化剂的系统中演化而来的。RNA比DNA小，只有单螺旋结构，而且核苷酸（RNA和DNA的基本组成单元）的链更短。RNA不太稳定，但它也可以储存和运输信息：在今天的所有的活细胞中，都有RNA参与基因的编码、解码、调控和表达。在所有生命都用DNA来储存遗传信息的"DNA世界"之前，是"**RNA**世界"，在这个世界里，RNA的小分子链催化了所有的化学基团和原始生命所需的信息传递。

今天的一些病毒仍然使用RNA作为遗传信息。它们或可为描绘“RNA世界”提供线索。



今天的生命的最后一个普遍的共同祖先的前体很可能是通过RNA运行的，但是RNA本身是如何出现的，这一问题让科学家困惑了几十年。1999年，杰拉尔德·乔伊斯和莱斯利·奥格尔（Leslie Orgel）这两位该领域的重要研究者认为，自发出现的核苷酸“近乎一个奇迹”。但在2009年，化学家约翰·萨瑟兰（John Sutherland）揭示了它是如何产生的。一个核苷酸由两个部分组成——一个糖和一个碱基，就像两个独立的金属环，似乎只有魔术师的戏法才可能让二者形成互锁结构。萨瑟兰运用横向思维，把这些碱基和糖的前体以不同的方式混合在一起，使它们形成了“半糖”和“半碱基”，就像两个半环一样。当他添加了另一种“半糖”和“半碱基”时，一种叫作胞嘧啶核苷酸的RNA核苷酸出现了。当紫外线照射在这种混合物上时，产生了第二种核苷酸。当我在2015年采访萨瑟兰的时候，他说，他和他的同事最近发现，RNA甚至可以从更简单的材料中产生，只要有氰化氢、硫化氢和紫外线就可以。

但是，即使RNA如何出现的问题有了一个答案，但它们在哪里出现的问题还没有答案。生物物理学家戴维·迪默认为，RNA可能是在能接触到液态水和空气的火山岩中诞生的。火山岩周围的环境有点儿像夏威夷和冰岛的一

些地方，那里的热水池不断地经历着湿润和干燥的循环，就像我们在本章前文中想象的古老的海滩一样。它的陆上池暴露在与我们生活的大气环境截然不同的条件下，其中包含各种来源的稀释有机化合物的复杂混合物，其来源包括碳质陨石，以及其他由火山和地球大气反应引起的化学反应产生的化合物。由于环境的变化，这些化合物将不断地经历循环，它们会被干燥和浓缩，随后再被稀释。在干燥的时候，稀释的混合物会在矿物表面形成薄膜。在这些条件下，化合物会相互反应，产物会被密封在自组装的薄膜中。通过这种方式形成的产物，大量的原始细胞——第一代生物细胞的前身——在整个早期地球上的各处出现。

在这一理论中，大多数的原始细胞都是惰性细胞，但少数会包含一种特殊的混合物，可以从外部捕获能量、氨基酸和核苷酸，从而使自身变得更复杂。当这些小分子被传送到原始细胞中时，它们在能量的作用下被连接成长链（蛋白质和核酸）。当一个或几个原始细胞发现自己不仅可以生长，还能（可能通过RNA）形成一种包含催化功能和遗传信息的循环时，生命就开始了。

这个理论听起来很有说服力，但可能也有一些问题。一些研究人员认为，在这样的条件下，从阳光和火山热量中获取的能量不足以驱动第一代原始细胞的出现，然后形成更复杂的形式。在一个由化学家迈克尔·拉塞尔提出并由演化生物化学家尼克·莱恩（Nick Lane）等人倡导的竞争假说中，生命起源于海底的碱性热液喷口。这些奇怪的结构与今天雪人蟹和巨型多毛虫生活的滚烫的“黑烟囱”有很大的不同。碱性喷口并非起源于火山，而是由大陆板块的运动（速度和脚指甲生长的速度差不多）产生的新暴露在海水中的岩石与海水发生化学反应而形成的。该反应产生甲烷和富氢水，并膨胀和加热岩石，导致其形成裂缝并断裂。这反过来又让更多的海水渗入岩石中。在今天地球上的碱性喷口处，如大西洋中部的“失落之城”，反应会挤压出扭曲、陡峭的石灰岩塔。塔中充满了微小的空腔，它们刚好和细菌细胞差不多大小，甲烷和氢气泡通过它们进入40～90℃的水柱中。根据该理论，生命就始于这些空腔之中。

最近的研究支持了这样一种假设：在地球早期的化学环境中自发产生的化学反应为生命的演化提供了基础——换句话说，新陈代谢比生命本身更古老。马库斯·罗尔瑟（Markus Ralser）等人发现，三羧酸循环（所有需氧生物用于产生能量的一系列化学反应）的一种可以在没有酶（细胞蛋白质）的情况下进行。

拉塞尔、莱恩等人认为，生命起源于碱性喷口的假说可以解决新陈代谢的问题：原始生命是如何捕获到足够的能量进行自我组装和演化的。从地面

上冒出来的原始氢气，就像在碱性喷口处一样，是“一顿免费的午餐”。塔壁的温度和酸度差异形成了一个微弱但巨大的“电池”。因此，这些喷口处形成了有利于更复杂的生命产生的环境，因为它们提供了稳定的自由能量流，这对于制造蛋白质、脂质、RNA和DNA等复杂的聚合物是必需的。而且，利用这些通风口的电子和质子梯度，LUCA为所有未来的子孙设定了模式，这种模式存在于它们细胞壁的氧化和还原的化学反应中，这类反应在如今海底温暖的碱性喷口中也有发现。如果这个假说正确的话，那么所有人都拥有关于海底古老的“失落之城”的记忆。

17世纪的时候，阿塔纳修斯·基歇尔想象地球内部贯通着水和火，从而驱动湍流和万物变化。现在我们知道这是对现实的曲解，但并不是完全错误的。20世纪中叶以来，我们就知道是地核的热量驱动着大地板块构造：大陆板块在数十亿年的时间里在地核表面运动，循环利用岩石和水。在碱性喷口“热烟囱”处的热活动也是这些更大的循环中的一小部分。但从那以后，一个更加令人震惊的现实变得更加明显。

> “水和火在相互作用中甜蜜地结合。”

现在，地球科学家普遍认为，生命会调节地球系统，使它有利于自身。它的影响一直延伸到高层大气，在那里地球创造了臭氧层，阻挡了高能量的紫外线，从而使植物和依赖于植物传播的一切得以在这个星球上生存。数十亿年来，地球上的生命不仅改变了地表和天空，还改变了深层的地下王国，它们从地幔中抽取碳并以沉积岩的形式将其堆积在地表，并将大量的氮气从空气中固定成氨的形式，储存在地幔岩石的晶体中。通过控制大气的化学状态，生命也改变了它接触到的岩石状态，从而使地球的地壳和地幔都充满了氧气。这改变了岩石的物理特性——它们在不同的力和条件下会弯曲、断裂、压扁、折叠乃至熔化。地球生物圈生产的黏土矿物软化了地壳，有助于润滑板块构造系统，否则它们就难以移动了。在已经运转许久的地球上，生命并不是无足轻重的后来者，它已然成为地球进程中的核心角色。

惊人的设计：细胞的奇迹

在形成之初的约17亿年的时间里，生命都是由微生物组成的，这些微生物是今天的细菌和古菌的前身。这些相对简单的生物在早期的创造发明如今仍然在为我们和其他生命中的每一个细胞提供能量。但直到最近，我们才开始看到且充分认识到它们的价值。

在地球上微生物出现20亿年后，一个古菌吞噬了一个细菌但是没有消化它，从而产生了一种更大、更复杂的细胞，被称为真核生物，这是植物、动物和真菌的祖先。

我们第一次瞥见这个小小的看不见的世界是在17世纪。17世纪70年代，显微镜学家安东尼·范·列文虎克（Antonie van Leeuwenhoek）用微小的透镜——玻璃珠或玻璃球——能够把任何物体放大约275~500倍。他发现，哪怕是在看起来最干净的水（以及一些不那么干净的水，比如那些从不刷牙的老人口中的唾液）中，都有不计其数的“小动物”。我们现在知道，这些“小动物”包括原生生物（你可以宽泛地理解为池塘生命）和细菌。与列文虎克同时代的罗伯特·胡克（Robert Hooke）虽然显微镜设备很差，但他交流能力强，尤其是英文写作能力，在1665年他出版的《显微制图》（*Micrographia*）中展示了许多前人无法想象的奇迹：软木塞中的微小的“细胞”［细胞（cell）因与修道院中的僧侣生活的小房间相似而得名］；一只苍蝇的眼睛被放大成为怪异的复眼；以及跳蚤身上的“铠甲”和口器。“大自然，”胡克写道，“并不只是在机械地工作，而是如此出色……如此惊人的发明，以至于世界上再也不可能找到更有独创性的东西了。”

近几十年来，研究人员发现，自然界的机械运作的尺度比列文虎克或胡克所设想的要小得多。因为在纳米尺度上，生命就是由分子机器构成的。这里的“机器”并不是一个比喻：这些实体是可移动部件的组合，它们以规律的方式重新排列其他分子，像钟表的发条一样精准。但这些机器与我们更熟悉的机器不同的是，它们能够连续不断地自我组装、修理和拆卸，而且比人类制造的任何东西都要可靠得多，可以经历数十亿年基本保持不变。我认为，它们真的令人惊叹：这是我们这代人的奇迹，与列文虎克和胡克发现的奇迹一样伟大。以下是两个例子。

首先是核糖体：它们是制造对生命来说必不可少的蛋白质的小“工厂”（在人体内大约有25 000种不同的蛋白质，大多数单个的蛋白质分子的寿命只有几天的时间，所以它们需要以稳定的速度被替换）。核糖体是如此重要，以至于我们很难想象细胞究竟是如何在没有它们的情况下出现的。它们存在于每一个活着的细胞中，在所有的细胞中拥有同样的基本结构。它们的活性部位和中心核都是完全由RNA构成的，因此核糖体可能是从RNA世界演化而来的遗迹或变体。你在这个世界上的物质存在的所有基础是它们无穷的活动，如梦一般几不可闻。

与水和单糖等分子相比，核糖体是巨大的，大约由100万个原子组成；但与细胞相比，它们是微小的，一个正常的人类细胞可以包含数百万个核糖体。每个核糖体由大大小小的亚基组成，像机器人的各部分一样，通过信使RNA从细胞核中的DNA中读取信息，就像在阅读盲文一样，利用阅读来

的信息来选择氨基酸并将它们结合在一起，形成新的蛋白质。它每秒能连接约40个氨基酸，而且误差率小于万分之一——远远优于人类在高质量产品制造中的成就。它们活动的空间在一个只有20～30纳米的地方。

物理学家尼尔·格申菲尔德（Neil Gershenfeld）称核糖体为原始的数字制造者，比3D打印机的出现早了40亿年，而且更为可靠。一台3D打印机的设计是由一套数字的计算机程序决定的，但它的材料（如树脂）没有自组织性质，它只是一种光滑的物质。然而，核糖体“打印”所使用的20个氨基酸拥有规则和重复的形状——用乐高积木来比喻比较准确，这使得用它来制造蛋白质的过程是可重复和精确的，可以实现极多种类的构型。在某种程度上，“代码”本身也在材料中，因为零件的形状会引导它们以有限的方式进行配置。

那细胞内的分子又是如何知道要到哪里去的呢？有一个老笑话：在寒冷的日子里，两个人在室外休憩。一个人从保温杯中倒出两杯热茶，对另一个人说：“你知道，这个保温杯是非常神奇的。在冬天，它能保持茶水的热度，但在夏天，我放进去冰茶后，它又能保冷。我就问自己，它是怎么知道我想要什么的？”

细胞及细胞内的分子就像保温杯和杯中的茶一样，它们什么都不“知道”。细胞内的液体，称为细胞质，主要成分是水，在单细胞的细菌中，许多分子和大的分子集合在其中自由浮动。在绝对零度以上的任何温度下，所有分子都会振动，这就是热量。在室温下，一个中等大小的蛋白质漂浮在细胞的水介质中，它每秒随机移动的距离加起来有大约5米，这是一个跑得比较快的人的速度了。如果单独放置在空气中，蛋白质移动相当于其自身长度的距离会花费大约十亿分之一秒时间，但是在细胞内部，受到四面八方的水分子的阻碍，它要花1 000倍的时间（百万分之一秒）来移动同样的距离。然而，细胞是微小的。一种细菌，例如大肠杆菌，大约有千分之七毫米长，不到千分之二毫米宽。正因为如此，随机运动的速度足以把许多氨基酸和蛋白质运送到需要它们的地方和合适的位置。一个典型的细菌细胞中几乎没有什么内部障碍，任何分子都能在其穿越细胞的混沌过程中，在几秒钟内遇到几乎所有其他的分子。

> 在同一温度下，空气中的分子比在水里的移动速度要快得多。物理学家彼得·霍夫曼（Peter Hoffman）说，如果我们缩小到分子的大小，我们将受到分子风暴的轰击，这种风暴的猛烈程度让现实生活中的飓风相比之下简直就是微风。但是，尽管有这么高的速度，在你周围空气中的单个分子也不会走得很远，因为它们经常与其他不同方向的分子发生碰撞。

真核细胞，即所有的DNA都储存在唯一的细胞核中的细胞，比细菌和古菌（不含细胞核的原核细胞）要复杂得多，而且通常要大得多。有时候，这些真核生物会结合在一起，共同形成较大的生物（如我和你），并维持生存。与细菌和古菌不同的是，每一个真核细胞都有内部的隔间和其他的特征，如微管，它的功能类似于为运动蛋白（叫作“驱动蛋白”）提供轨道，可以在细胞中传输重要物质。如果你在网上搜索它的动画，你会看到驱动蛋白下面有一双大脚，就像卡通形象高飞一样，它们用这双大脚大步行走。同样令人惊奇的是，它们利用来自水分子随机轰击的能量来为它们的行走提供能量，将无序运动变为有序的工作。但驱动蛋白并不是除了核糖体之外最神奇的分子机器。我们身体内的每一根纤维都是一个更令人惊奇的装置，而我的第二个分子机器的例子就在其中。

分子机器比可见光的波长小，因此我们无法直接观察到它们。其结构和功能可以用其他方法来确定，如X射线晶体学。研究人员正是根据这些信息制作出动画的。

托马斯·布朗在17世纪中期写道：“生命是一束纯净的火焰，我们依靠自己内心看不见的太阳而存在。”这听起来像诗，但实际上是对事实的保守陈述。成为人类，并维持生命活力，每克体重需要大约2毫瓦的能量——一个正常的成人大约需要130瓦能量维持生命。你所想的、所做的和所成为的，都只是一个白炽灯泡的功率等级。它听起来并不多，但每单位的质量需要的热量至少是太阳的一万倍。这怎么可能呢？

太阳的大小是人类的10^{21}倍，但它每立方厘米每秒只能释放出2.8尔格能量，而人类却能释放出超过10万尔格的能量。（尔格是一个能量单位，1尔格等于10^{-7}焦耳。）

简要的答案是细胞呼吸：细胞呼吸是一种代谢过程，生物体将葡萄糖与氧气结合，释放能量（以及二氧化碳和水作为废物）。但这个简要的答案省略了很多内容。首先，细胞不会直接利用这些能量，而是使用一种叫作三磷酸腺苷（ATP）的分子，把能量输送到需要的地方，例如核糖体中。

要为单个细胞提供能量需要大量的ATP。像人类这样的复杂多细胞生物，除开细菌群之外共包含大约37万亿个细胞，需要更多的ATP。为了产生ATP，每个细胞含有数以百万计的微小的豆状细胞器，称为线粒体。你体内的线粒体总数超过了1 000万亿，表面面积约为14 000平方米，大约有两个足球场那么大。它们利用从糖中提取的能量，每秒钟从细胞膜上泵出超过10^{21}个质子。每一个质子（这是一个氢原子的原子核，太阳的内核中

也有大量的这种粒子）带有一个正电荷。抽吸它们穿过线粒体膜会在膜两侧产生浓度差，因此会产生150~200毫伏的电荷差。这个差别听起来很小，但由于薄膜很薄，大约只有6纳米，它产生的电场可达3 000万伏每米，相当于一道闪电的强度。所有的生命，包括你和你的每一代祖先都携带这种变化。

> 线粒体起源于一个叫作α变形菌的细菌，它在大约25亿年前被古菌吞噬，并为它们提供了额外的能量，从而产生了在动物、植物和真菌中发现的真核细胞。

在这里我们得到了第二种奇妙的分子机器。每一个线粒体的膜上都有成千上万个被称为ATP合酶的单元，它们的名字暗示了它们的作用——合成ATP。每一个ATP合酶都像一台微型水力涡轮机。那些在外部膜后面累积的质子像水一样倾泻而下，转动一个像马达一样的旋转装置。这个装置通过一个轴连接到第二个称为催化头的旋转组件上，将磷酸（P）和二磷酸腺苷（ADP）组合在一起，形成ATP。第二个旋转组件由9个或更多的亚基组成，其中6个亚基排列成类似橙子的一部分的形状，它们转动时会将磷酸分子扣在一起。在正常的运行中，整个程序的旋转速度是每秒几百转。通常情况下，每一转都会产生3个ATP。

> 令人难以置信的是，通过在ATP合酶的旋转部分附着一个微小的纳米金颗粒，就可以观察到这种旋转。事实上，正是这样的实验观察确证了它的存在。

剑桥大学的线粒体生物单元的办公室里，收藏着一个ATP合酶的比例模型，它由乐高积木搭就。这个模型1米多高，细节极其丰富，从某种意义上说，这是一种“小花招”，用来帮助儿童和像我这样对此一无所知的成年人，让我们对生活中最令人惊叹的机器之一——ATP合酶产生一种粗浅的认识。不管怎么样，我第一次看到这个模型的时候大吃一惊。约翰·沃克（John Walker）也许比其他任何人都更能解释这个非凡的分子机器的结构，因为他凭借这个作品获得了诺贝尔奖。尽管获得了诺贝尔奖，他依旧坦率且谦逊，十分慷慨地奉献出自己的时间为我展示这个模型。他仍然是那个把这份工作和这个奇迹般的存在放在心中首位的人。他平静地告诉我：“把这事儿研究出来，的确挺花工夫的。”

生命本身

在本书的引言中，我描述了我在厨房的天花板上看到的一片阳光。光从一棵树的枝丫间穿过，枝丫在微风中移动，在这片光中荡起涟漪。树和人类感知到树影的方式有共同的起源，但它们也有不同之处。例如，树在“吃”光方面展示出惊人的技巧，如利用量子效应，以最大限度地提高效率。但树和人类拥有共同的生化基础，在许多不停运转的基本机制上也是相同的，包括核糖体和ATP合酶。

两三年前，一位朋友邀请我与他一起来到威尔士中部的一条小河边。他说，这条河是这个伟大国家里唯一一条真正的自然状态的河流，我们将进入英国境内的最后一片大西洋雨林。很少有人去那里探险。几天后，当我们沿着河边的一条柏油马路行走时，看到一辆地方管理者的垃圾车，保险杠上贴着“让威尔士保持整洁”的标签，我还怀疑朋友是不是搞错了。但渐渐地，山谷的形状和感觉开始改变。车停在前面，只留下河的声音和树上的风。当我们走着的时候，河与路开始分离，进入了一个峡谷，我们和河流之间的树林变得越来越茂密。地钱、地衣和附生蕨类植物分布在岩石的表面和树枝上。我的朋友高兴地看到，我们头顶上的树不是橡树，而是小叶子的栗树、椴树。他解释说，这些都是古老的林地的树，表明这个地方在几百年来都没有受到外界任何干扰，甚至从史前时期开始就是这样。

我们顺着山坡滑下，落在松软的苔藓和厚厚的土壤上。又攀爬了一段路，我们才到达那条河。河水从巨石的边缘落下，沿着一条陡峭的水道流入了四五米以下的水池。我们在那里坐下来，吃着三明治，看着水。在毫无预兆的情况下，一条鲑鱼突然从瀑布底部的水里跳了出来，向上跃起，好像努力地想从空气中获得点儿什么，然后又跌入湍急的水流中。经过一次又一次的尝试与失败，当它终于成功地跳到上面的水池时，我发现自己在欢呼。我意识到在这个地方我获得全然的快乐，就像在家里一样。那天晚上，就像许多夜晚一样，我梦到了一片原始森林。它是一个真实的地方，也是一种内在的风景，一种灵魂的活力。

太阳出来了，我看着我手指上的戒指。一个熟悉的事实浮现在脑海中，但更多的是一种感觉，而不是一个想法：我周围的一切，包括那枚戒指上的黄金，都是在数十亿年前的恒星和超新星中形成的，如果我们足够聪明，足够慷慨，那么在我消失后，我们仍将继续在无尽的美丽中游戏。

---

1. 1英里≈1.609千米。

2. 划蝽是一类水生昆虫。

3. 指物体密度与它浸入的液体密度相等时所受到的浮力。

4. 冥王星（Pluto）和冥卫一（Charon）的英文名字分别是“冥界之

王”及“渡亡魂过冥河去阴间的神”的意思。

第3章

30亿次跳动——心脏

奇迹就像心脏的收缩。

大阿尔伯图斯（Albertus Magnus）

多亏有心脏，让我们活着。

威廉·华兹华斯（William Wordsworth）

对于心脏来说，生活很简单：只要能跳动，它就跳动，直到停止。

卡尔·奥韦·克瑙斯高（Karl Ove Knausgaard）

人类最先有的是听觉。孕期五个月时，胎儿的大小通常只有出生时的一半，但这时胎儿的耳膜和耳朵内部的听小骨已经接近成人的大小。胎儿的听觉神经也已经成熟，可以传导信号，而且处理声音的大脑颞叶也开始起作用。胎儿能听到低沉的声音，他们听到的第一个声音便与母亲的心跳有关——母亲心脏每跳动一次将血液泵入主动脉，这时，胎儿便会听到母亲血管膨胀的声音。六到七个月大的时候，胎儿可以听到母亲的说话声，虽然听得不太清楚。母亲声音的某些音调和模式，不管是以说或唱的形式，都可能让胎儿移动或保持静止，有时母亲和胎儿会开始“交谈”——胎儿会对某些声音格外敏感，特别是歌曲，母亲能够感觉到胎儿的反应并开始重复这些声音。

人类并不是唯一在出生前就能听到母亲声音的动物。例如，澳大利亚红背细尾鹩莺在孵化前就学会了和母亲一样的叫声。

通过超声波，许多父母都可以听到子宫内微小的心跳声，这是他们听到自己的孩子发出的第一个声音。准爸爸时候的我第一次听到这个声音时，我发现它的心跳每分钟超过100次，这既令人兴奋又令人害怕。看到我的担忧，护士温柔地解释道，婴儿在发育阶段的这种心跳速度是完全正常的。我镇定了一些，继续虔诚地听着。

从整个动物王国的心率来看，人类婴儿的心跳不是很快也不是很慢。蜂鸟的心脏每分钟能跳动1 000次以上。蚌的心脏在它平静的时候每分钟只搏动两次，兴奋时心跳则会上升到每分钟20次。然而，胎儿、婴儿或我们称之为孩子的心脏的快速跳动——这是一个生命刚刚开始的节奏——仍是我所知道的最崇高的存在之一：它很美，但也因它的快速而令人不安。

在紧张、快乐或兴奋的情况下，我们经常会意识到或想象自己意识到自己的心跳。我们不会用这种方式感知其他器官：内脏的扭曲或转动我们是完全感受不到的。这会令我们产生一种感觉，即心脏是我们身体里最重要的部分。而这种感受显然要追溯到很久以前。在古埃及，心脏（古埃及人称它为“Ib”），被认为是灵魂最重要的表现，超越幸福的感受被称为“心的宽阔”（Awt-ib）。人死后被制成木乃伊，心脏是唯一留在木乃伊身上的主要器官，在古埃及人眼中它能与真理、和谐和正义女神玛特的羽毛分别放在天平的两边称重，以判断一个人的生前的善恶。时至今日，在各种文化中，心脏仍被视为我们最宝贵的东西。在一种被称为Laghunyasa的印度教传统冥想中，创造、保护和改造宇宙的至高无上的存在——湿婆即被认为居住在心脏中。在苏非派的旋转冥想中，托钵僧从右到左绕着心脏的节拍旋转，以表达对全人类的拥抱。在欧洲的浪漫主义传统中，许多人强烈地感受到了约翰·济慈的宣言：“除了内心情感的神圣性和想象的真实性之外，我什么都不能确信。”最近的科学研究表明，能感觉到自己心跳的人更善于感知他人的情绪。

在黑暗时代仍然试图保持体面的人早已注意到这些共鸣。20世纪60年代，由于担心距离和抽象语言会使美国总统对核打击的严重性视而不见，罗杰·费希尔（Roger Fisher）律师建议，导弹发射代码不要放在公文包里让总统身边的某个年轻官员随身携带，而应将代码放入一个胶囊通过外科手术植入官员的心脏中。然后，如果总统认为让数千万人失去生命是必要的，他自己必须使用屠刀挖出这个年轻人的心脏。费希尔说，当他把这个建议提给身为五角大楼高层的朋友时，他们的反应是：“天啊，那太可怕了……（总统）可能永远不会按下按钮。”不过，在阴险的控制和压迫系统中，心也可以被控制和束缚。在戴夫·埃格斯（Dave Eggers）2013年的讽刺小说《圆环》（*The Circle*）中，主人公梅·霍兰佩戴着一个“See Change”相机，这是一种新的通用监控系统的组成部分，像一个可爱的挂件，直接放在她胸前的胸骨上。现实中，一些公司已经在试用社会测量徽章，让员工把它挂在脖子上，以这种方式监控他们的一举一动和交际。

关于心脏的探索之旅

在人类历史的大部分时间里，人们几乎不知道心脏的作用是什么，也不知道它是如何运作的。对于我们这些在现代工业社会中受过教育的人来说，

这似乎有些奇怪。不过，心脏的主要作用是将血液输送到全身，这的确并不直观可见。对人的肉眼来说，血液循环并不比地球绕太阳运行的事实更明显。动脉和静脉逐渐隐没在身体的组织中，我们如今知道它们末端由毛细血管相连接，以完成血液流通的线路，而毛细血管实在太细，在没有显微镜的情况下我们是看不见它们的。

公元2世纪的罗马医生盖伦的思想统治了欧洲医学超过1 500年，肝脏之大小和在身体里的中心位置给他留下了深刻的印象，因此他认为肝脏而非心脏，是身体最核心的器官。他教导说，血液是四种体液之一，另外三种是黄胆汁、黑胆汁和黏液。据推测，经肠道消化后的食物通过门静脉进入肝脏，它在那里被转化为血液，其中充满了盖伦所说的“自然精神”。然后，这些伟大的血管缓慢地将这种酿造产物输送到身体的组织中，在这些组织中，它们消耗了精神，接着再被带回到同样的血管中。根据盖伦的说法，与此同时，一些来自肝脏的血液进入心脏的右侧，在那里它遇到了从肺部来的空气。它们的相遇产生了一种火，这就是为什么活人的身体是温暖的。但是血液并没有被这团火焰吞噬，而是被提炼出来，通过某种方式穿过隔膜（心脏中间的隔离墙）到左边的腔室，产生“重要的精神”，之后经动脉流向全身，支持身体的运动和大脑的思考。

盖伦对心脏的理解错得离谱，如今早已被医学界否定。但是他的四体液学说被推广而成的四种性格气质学说却有着非凡的生命力。它影响了迈尔斯–布里格斯类型指标（MBTI），这种指标用于区分不同类型的人格，至少在20世纪末之前还被广泛使用。这种学说甚至在科学家对于未来的想象中都延续存在。金·斯坦利·鲁滨逊（Kim Stanley Robinson）1993年出版了一本科幻小说《红火星》（*Red Mars*），在这本21世纪行星定居的编年史中，心理学家米歇尔·德瓦尔（Michel Deval）惊讶地发现，四种性格气质学说为分析第一批殖民者的不同个性提供了一个很好的视角。也许盖伦学说的持久魅力在于，它似乎很容易解开物质存在的奥秘，消除疑惑和不确定性，这在人们面对疾病或焦虑的时候是特别受欢迎的。相比之下，哪怕是最先进的现代医学，都充满着复杂性和不确定性。阿图尔·加万德（Atul Gawande）医生说，人类的身体“复杂得可怕，难以理解，难以阅读”，这种认识有时比不上虚假的希望令人感到安慰。

> 四种气质是：多血质（外向而主动）；胆汁质（性急而易怒）；黑胆质（明智且擅长分析），黏液质（沉着冷静）。

16世纪早期，列奥纳多·达·芬奇在对心脏的了解上迈出了最重要的一步。的确，达·芬奇对心脏的理解在某些方面直到20世纪末才被超越。1508至1513年，在去世前的6年间，达·芬奇对人体的内部解剖结构——骨骼、肌

肉、肌腱和神经、生殖系统和主要器官，特别是心脏进行了详尽的研究。他是一位军事工程师，也是一位技艺高超的艺术家，他把自己对杠杆、流体流动，以及生命的微妙变化的理解融入了研究之中。他绘制的解剖图之详细精准难以超越，美感就更不用说了。也许，在绘画生涯中的前几十年里，他试图捕捉的是外表的庄严壮丽，但是最后的时间里，他在寻找一种美，用作家厄休拉·勒吉恩（Ursula Le Guin）的话说，这种美不仅仅浮于表面，而是深入生命的。

> 达·芬奇在15世纪80年代向米兰公爵卢多维科·斯福尔扎（Ludovico Sforza）提交的一份求职申请中，概述了他的特长，包括以下内容："我将制作相当美观而且实用的大炮、迫击炮和轻型武器，这些都是非比寻常的设计。在轰炸行动无法触及的地方，我会设计弹弓、炮台、投石机和其他不常用的奇妙设备。"

达·芬奇在大多数情况下都是使用牛心和猪心进行研究的，直到后来用人的心脏进行研究的时候，他才发现心脏首先是一块肌肉。他看到它有四个腔（被称为"房"或"室"），而不是盖伦所说的两个，上面的两个心房同时收缩，接着下面两个心室同时收缩。他发现手腕上的脉搏与心脏的跳动保持一致，还试图计算心脏的输出量（每分钟流出心脏的血液量）。达·芬奇意识到心脏中的阀门是单向的结构，这与盖伦认为的持续不断的血液流动和血液回流并不相容。他还指出，血液中的湍流运动有助于心脏瓣膜的打开和关闭，这一事实直到20世纪晚期才被完全理解。达·芬奇发现并绘制了支气管动脉，并描述了节制索，正确地将其识别为右心室壁之间的肌肉桥梁，其功能在于防止心脏过度膨胀。他的洞察力是如此之全面和深刻，以至于人们很难相信他竟没有意识到心脏可以将血液输送到全身——他留下来的笔记中确实没有关于此的明确记载。达·芬奇从未发表过关于心脏的著作，同时代的人都不知道他的研究，直到近500年后，他的素描和笔记最终被专家鉴定出来。而这种情形的结果是，他后世的人不得不在没有他的发现的情况下摸索前进。

在1543年出版的《人体构造》中，解剖学家安德烈亚斯·维萨留斯（Andreas Vesalius）将美术的标准和迅速发展的基于实证的制图学知识应用于绘制新的人体地图中。在帕多瓦大学担任解剖学教授的维萨留斯解剖并仔细观察了大量尸体，还纠正了盖伦的诸如大血管源于肝脏等诸多错误。维萨留斯还质疑了血液是通过心脏隔膜中看不见的毛孔流通的说法。但他并没有完全摆脱传统的影响，仍坚持盖伦认为静脉和动脉中流着不同类型血液的看法。尽管如此，维萨留斯的怀疑态度和他对第一手观察的信心鼓舞了其他人继续质疑盖伦的权威。

与盖伦的心脏学说决裂的人是威廉·哈维（William Harvey），他于17世纪初在帕多瓦学习医学，师从维萨留斯派。哈维做了一些大胆甚至可怕的实验。他切断了狗的主动脉，并测量了从它们仍然跳动的心脏流出的血。很明显，这几分钟内泵出的血量就远远超过肝脏可能产生的量，更不用说一个小时或一天流动的血量了。一天之内，心脏泵出的血量必须以吨来计算。1628年，哈维得出结论，血液必须在一个完整的循环中流动，这是唯一的解释。

一个正常成人的心脏每跳动一次会泵出70毫升（即70克）的血液。心脏平均每分钟跳动70次，即每分钟泵出近5升血液，一天就可能超过7 000升——7吨血液。

哈维被称为“医学界的伽利略”。但他的理论在某些方面仍然不太清晰，继承了盖伦的某些研究观点，并保留了其神秘元素。例如，哈维不知道氧气的存在或性质，他写道，根据盖伦的理论，血液是“蒸气的，充满被加热和冷却的精神”。他也赞同他的朋友，医生和炼金术哲学家罗伯特·弗卢德（Robert Fludd）提出的观点，即循环运动是神圣意志的一种表达。在《宏观与微观世界》这部在1617年和1621年之间出版的迷宫般的关于大宇宙和微观世界的历史著作中，弗卢德写道，当上帝第一次将神圣的灵魂吹入空气中，创造出一个循环的世界时，太阳模仿这一点，在天空中划过一个圆圈。天上地下一个样：太阳向地球送入神圣的风，创造出循环气流，在那里——“空中的硝石”，或者我们也可称其为“精华”，通过肺进入人体，从肺进入心脏，进入另一个循环。

勒内·笛卡儿是哈维血液循环理论的有影响力的早期倡导者。他强调了该理论的机械性质，把心脏比作水泵和时钟。这在今天听起来可能太简单了，但这两个比喻其实都很有道理。事实上，一颗健康的心脏在休息时跳动的规律性是如此可靠，而这据说激发伽利略产生了他最有创造性的一个想法。据说，在哈维发现血液循环之前的几十年里，年轻的伽利略曾看着悬挂于教堂的天花板上来回摆动的吊灯，同时依靠脉搏测量时间，发现不管吊灯摆动的幅度是大还是小，摆动一次的时间都相同。这让他产生了用钟摆作为时钟计时机制的想法。1637年，当晚年的他因日心说的观点而被软禁的时候，他将这个想法绘制成草图。伽利略生前并没有将这个设想变为现实，但在1656年，在他去世后14年，克里斯蒂安·惠更斯做出来了。新设备的时钟误差从每天15分钟减少到每天15秒。

在笛卡儿看来，身体是一台机器，一个物质客体，通过松果体，从非物质的头脑和灵魂得到指令，大脑的中心结构就像是17世纪的Wi-Fi（无线保真）接收器。到如今，即使是那些认为身体和灵魂之间有明显界限的人，

也不接受这个模型，但这并不意味着身体和包括心脏在内的身体器官就不是机械的。相反，它们是一套远比笛卡尔的想象更为微妙和复杂的机械，而且，无论它们是什么，我们都可以通过观察它们来扩展我们对奇迹的认识。

松果体在人类体内产生褪黑激素以调节昼夜节律，它实际上是一种萎缩的感光细胞。在我们遥远的祖先体内，它与一个称为松果眼的感光器官相连。棱皮龟在上亿年前和我们有同一个祖先，它的头骨上有一扇“天窗”，那是一块非常薄的骨头，它可以让光线直接接触松果体。这使得海龟的大脑能够计算出一天的长度，有助于其导航。

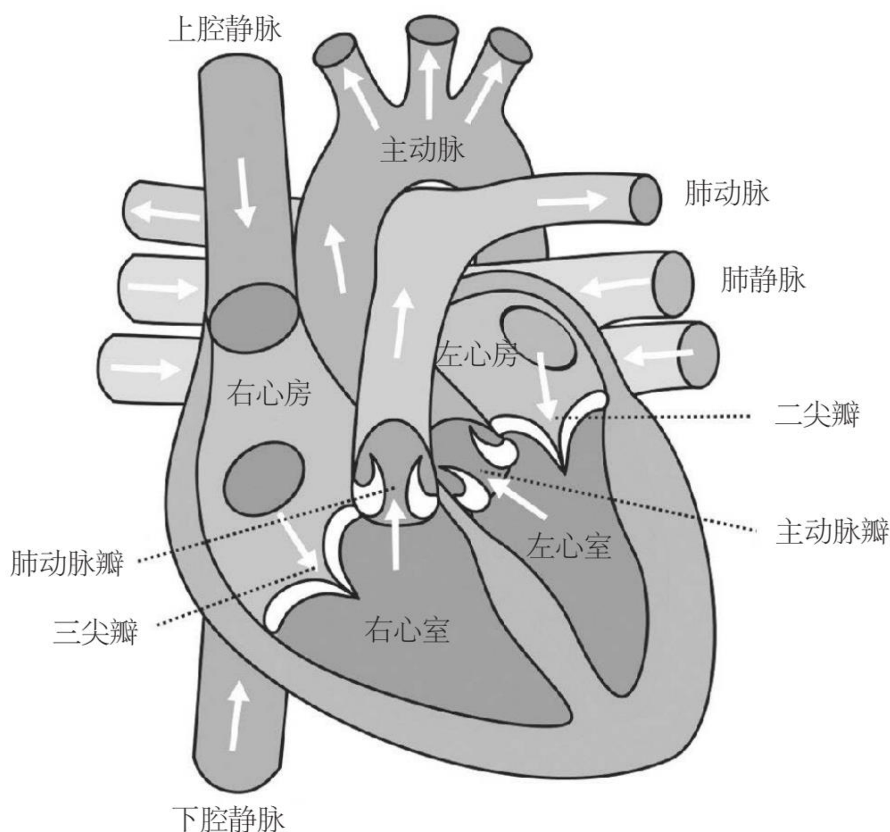
心脏的短途旅行

将右手攥成一个不太紧的拳头，把它放在你的胸前，比锁骨相交处低大约一个大拇指长度的位置。这大概就是你的心脏的大小和它在你左胸腔中的位置。把你的手指拢在一起，用尽可能多的力量来挤压一个网球，然后放松。在这个动作下网球的状态就类似于你的心脏每次跳动的动作（在写作时，我的心脏每分钟大约跳50次）。一颗健康的心脏一天可以不知疲倦地跳动10万次，在**80**年的寿命里会跳动超过30亿次。心肌不会感到疲劳，因为它具有非常丰富的肌红蛋白（一种用于有氧呼吸、可短期储存氧气的蛋白）和糖原（可储存能量）。它的线粒体也特别大，我们在第2章中介绍过，线粒体是每个细胞中的能量源，而心脏细胞中的线粒体是其他肌肉细胞的10倍大。

求你指教我们怎样数算自己的日子，好叫我们得着智慧的心。——《圣经·诗篇》90：12

现在，通过听诊器来听听你的心，或者其他人的心，你会听到有时被形容为“扑通”的两种不同的声音。“扑”是由两片瓣膜发出的，它们分别称为二尖瓣和三尖瓣，它们在心脏收缩的同时闭合，在收缩时，血液从两个较大的心脏腔（被称为心室）中被挤压出来。“通”是由另外两片瓣膜发出的，分别称为肺动脉瓣和主动脉瓣，它们闭合以防止心室重新充盈时血液回流。这些软敲击的声音被比作在皮革桌面上敲击的手指发出的声音，算是一个很形象的描述，但对于这些亲密的、原始的声音，每个人都有自己独一无二的微妙细节，“扑通”声既不是扬抑格，也不是抑扬格，而是“我是”的一次又一次的重复。

每个人的心跳的节拍都是独一无二的节拍，虽然人耳无法分辨其不同的特征，但心电图可以描绘出这种独特的生物标记。



心脏将血液泵入两个大小不等的循环回路。两条回路在心脏中相交，形成一个无休止的循环，就像一个不平衡的无穷符号“∞”或莫比乌斯环。心脏更大那一侧位于左侧（尽管一万人中会有一人在右侧），它驱动着系统的循环，通过动脉向全身的组织输送刚刚与氧气结合的血液。在全身组织中，血液释放氧气，驱动细胞呼吸，同时吸收二氧化碳和水，然后通过静脉返回心脏的较小的一侧。这一侧驱动了肺循环，使血液穿过在肺壁上的小血管，二氧化碳和水在那里被释放（呼出），新鲜的氧气被吸收，让血液回流到心脏更大的一侧，它将在那里被再次泵入身体。在任何时候，大约12%的血液在心脏内部，有70%的血液在体循环中，还剩下18%在肺循环中。

细胞呼吸的细节很复杂，但从整体轮廓上看，它其实很简单：葡萄糖和氧气产生能量（以ATP的形式来储存），同时排泄出二氧化碳和水。

心脏病学家维韦克·穆图兰古（Vivek Muthurangu）说，心脏的一个奇迹在于它有如此强的收缩力和如此高的效率。单个心肌细胞每一次抽动时的收缩率大约只有15%，但许多心肌细胞聚集在心脏中就形成了一个可观的总收缩。这背后的基本原理相当清晰：一束束的肌肉缠绕在心脏周围，它们在心室收缩时扭转运动，产生额外的挤压力。不过，最近科学家意识到，这远远不够解释收缩的程度。通过观察我们会发现，肌肉中的微观结构和宏观结构都表现得比目前研究揭示的结论更为复杂微妙。例如，当肌肉收缩时，肌肉片可能在边缘打开，以增强宏观结构上的扭曲力。而这一切如何运作的细节还有待研究。

每年都有成千上万的人死于肌纤维震颤，这常常是突发且毫无预兆的，包括许多没有心脏病史的人。如果组织和培训得当，可以拯救许多人的生命。住在荷兰或挪威的人，在医院外心脏病发作的存活概率可能是在英国的两到三倍。

单个心肌细胞会自发地抽动，如果没有强有力的外部信号来协调它们，心脏壁上的20亿左右个细胞可能会脱离节奏。一旦这件事发生，心脏就会陷入无节奏的、混乱的肌纤维震颤状态，并最终停止跳动。让我们活着的节拍是由一个叫作窦房结的天然起搏器产生的，它由一组位于右心房上方的心脏壁上的几千个专门细胞组成。为了启动一次跳动，节点会收缩，产生一个电脉冲——一个信号，然后通过心脏的组织放电。信号首先传递到心脏的心房，引起它们收缩。它还会传播到另一个叫作房室结的结点，信号会在这里等待，直到心房完全收缩。一旦心房完全收缩，并将血液推向心室后，第二个结点会将信号转发给心室，导致它们依次收缩。

如果不受控制，窦房结的频率约为每分钟100次，副交感神经系统减缓了它的速度，交感神经系统则加快了它的速度。

来自窦房结的信号之所以强到足以引发心脏跳动，是因为它的所有细胞都在同一时间被激发。这是“同步”——一种广泛发生在生命和非生命系统中的现象。所有的同步现象都需要将单个振荡器通过物理、化学或电化学（如心脏的情况）过程相耦合，使得它们能够在非常短的时间相互影响。在非生命系统中，同步可以通过从微小的振动（这就解释了同一张桌子上

的摆钟或机械节拍器为什么会倾向于对齐）到真空中的引力（这是一些特定行星轨道的成因）等不同的力产生。在生命世界里，除了心脏之外，最著名的例子之一就是在东南亚热带地区的河岸上，夜晚有几英里长的萤火虫一起闪烁的现象。数学家史蒂文·斯特罗加茨（Steven Strogatz）写道，他发现这种“美丽和奇怪的方式只能被形容为宗教现象……一种奇妙而可怕的存在，在一个原始层面［触摸我们］”。他认为，这种自发涌现的秩序就像是宇宙的秘密。

我可以盯着水母看很长时间，以至于人们都觉得我疯了。我特别喜欢那些长相奇怪的水母。例如，在热带印度洋—太平洋浅海中发现的箱形水母，它们的眼睛拥有视网膜、角膜和晶状体，看起来与人眼差不多，但它们的三叉神经似乎在某种辐射中发生了突变，使它们一次能看向三个方向。也许，这些没有头脑的生物甚至会回目注视我。与此同时，在帕劳群岛中的蘑菇状岛屿上，金色水母在岛上的海水湖里聚集在一起，像浓汤一样，进行着无穷无尽的未知的朝圣之旅。在开阔的海洋中，警报水母在阳光照不到的深海中发出光，像有胡须的红色飞碟。

我在这些奇异的生物上发现了美丽。但即使是最普通的水母的移动也让我着迷，它们就像5亿年前的寒武纪时期，甚至更久之前的祖先一样舞动跳跃。看着这些生物，我们得以窥见更原始的动物运动方式，这已经有超过5亿年的历史了。水母的脉动甚至可能早于火的诞生：碳和其他物质在氧气中的燃烧不可能早于4.7亿年前的奥陶纪。2012年，哈佛大学的科学家将哺乳动物的心脏肌肉细胞连接到硅酮基底上，制造出一个水母状的半机器人。它的跳动和实际的水母几乎没有什么区别。有一点是明确的：水母和人类最晚的共同祖先可能生活在6亿年前，因为水母和人类体内的横纹肌纤维具有微小的可比性。跳动或脉搏的产生或许早于心脏本身。

> 人类神经元的信号系统和水母的神经网络（水母没有大脑）的信号系统也是一样的。和人类一样，水母也会睡觉。

如果我们要充分了解像我们这样在空气中呼吸的动物的心脏，我们也需要了解肺。因为心脏——身体中肌肉最发达的器官——的存在是为了在肺（与空气打交道的器官）和我们身体的所有细胞之间架起桥梁。我们每次吸气时，空气都会经过2 400千米长的分支管道，进入肺中的5亿个囊中，然后再呼出体外。每一个被称为肺泡的囊的表面都排列着许多血管，它们吸收空气中的氧气，并释放二氧化碳和水。肺泡的总面积约为70平方米，相当于一棵15到20年树龄的橡树的所有叶子的面积总和。而且，从某种意义上说，肺是树的反面：肺泡是空的，叶子是固体的；肺泡吸收氧气，放出二氧化碳，而叶子在进行光合作用时则相反。我们的肺拥抱着天空，把

它带到我们骄傲的躯体里。

> 生物学家戴维·乔治·哈斯克尔（David George Haskell）将一棵树上每天流动和静止的水比作心脏的跳动，说："整个夏天，森林里的枝丫里充满了水血的跳动……收缩，舒张，森林中充满亚音速的嗡嗡声。"

地球上需要氧气的大多数生物都很微小，实际上没有心脏和肺也能很好地生活。在好氧细菌和变形虫这种单细胞生物中，氧气直接通过细胞壁扩散，并通过随机运动传输到需要的地方。一些多细胞生物，如扁虫，它们没有肺、心脏或肠道，也是让氧气和营养物质通过扩散进入体内。即使是相当大的动物，比如青蛙，也能通过皮肤吸收所需的一部分氧气。一旦身体超过了一定的大小，氧气就不能完全通过随机运动或扩散而快速到达最内层的细胞了，因为这中间隔着太多的细胞了。海绵类动物可以长得比人还要大，它们通过在体内组装了一个管道网络来解决这个问题，这种管道可以让水流输送氧气、营养和废物。几乎所有的昆虫都能通过小隧道直接吸收大部分氧气，这些隧道让空气通过它们的身体。它们通过全身轻轻地扩张和收缩吸入空气，再通过这些小孔排出废气。一些昆虫，如蚱蜢，也有管状的心脏从头部贯穿到身体的底部，这种"心脏"在蠕动的过程中收缩，仿佛微小的"人浪"，沿着它们的长度起伏。但这些器官泵到身体内部各处的是一种叫作血淋巴的液体，其中含有离子、碳水化合物、脂质、甘油、氨基酸和激素，但不包括氧气。

血液是一种特殊的物质

氧是一种很容易与他者发生化学反应的"活泼"气体（燃烧就是氧气与可燃物发生的反应），它可能对人体组织造成很大的伤害。因此，需要有一些东西使它不与任何身体部位反应，直到它到达需要的地方。由于这个原因，动物演化出了歌德《浮士德》中梅菲斯特所说的"一种非常特殊的物质"：一种含有特殊细胞的液体，特殊细胞能锁住吸入的氧气，只在特定情况下释放它们，如高浓度的二氧化碳所造成的酸性环境。在像我们这样的脊椎动物中，这些细胞当然是红细胞。在任何时候，都有超过20万亿的红细胞（如果不考虑我们体内的细菌的话，这个数目超过我们体内细胞总数的一半还多）在人体内活动着，大约在一分钟的时间内完成一个循环。

想象20万亿个血液细胞合奏的图景基本上超出了人类的想象力，但是，放大看一小部分细胞也有好处。"对现象的直接观察会对我们的精神惯性产生一种难以形容的干扰和影响，"19世纪解剖学家圣地亚哥·拉蒙–卡哈尔

（Santiago Ramón y Cajal）写道："即使在对现实的最忠实的呈现和描述中，我们也没有或难以发现某种令人激动的、令人振奋的品质。"回顾他于19世纪70年代初开始医学研究的第一年，第一次通过显微镜观察血液循环时，拉蒙–卡哈尔如此说道：

> 在壮观的景象中，我感觉自己好像在见证一场启示。看到红色和白色的血细胞像洪流中的小石子一样四处游动；看到红细胞的弹性，令它们得以在经过最纤细的毛细血管后，突然像弹簧一样重新恢复形状，这样的景象让我狂喜……在我看来，这仿佛揭开了一层覆于我灵魂之上的面纱。

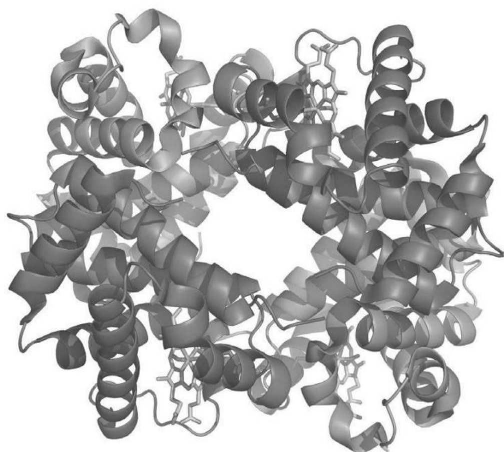
红细胞是我们人体中最小的细胞之一，其直径仅为750万分之一米。令人惊讶的是，引起疟疾的寄生虫——一种复杂的原生动物——将生命周期的一部分耗在这个狭小的空间里，因为它要搭着红细胞的便车进入肝脏，在肝脏中繁殖。而且，正如年轻的拉蒙–卡哈尔所观察到的那样，红细胞通过的毛细血管比细胞本身更窄，所以它们必须得挤过去。这有助于释放氧气和吸收二氧化碳和水，然后它们就会反弹回来，就像弹出式飞盘在被捕获后会反弹一样。最近，研究人员发现，受能量分子ATP的驱动，红细胞像绷紧的鼓一样不断振动，这有助于细胞保持其特征性的扁平椭球形或盘状。红细胞的振动频率（通常是每秒几百万次）是细胞健康状况的"显示器"。

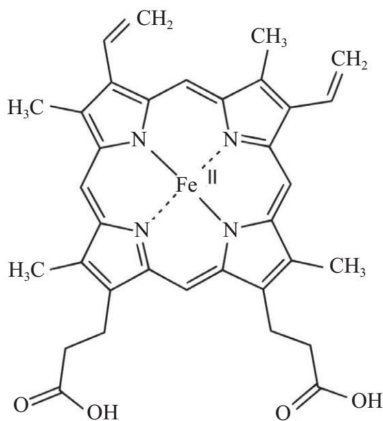
每个健康的红细胞含有约2.8亿个血红蛋白分子，每个分子形成一个特殊的"笼子"，携带4个氧分子。在一些简化的二维图形表示中，含有约10 000个原子的血红蛋白看起来像是由螺旋形意大利面做成的鸟巢，或是由弹簧床里的弹簧织成的篮子。它实际上由4个相同的亚基组成，每个亚基由螺旋形的氨基酸和非螺旋形的条状物组成，相互勾连形成四面体构型。每个亚基拥有一个血红素基团：一个像雪花一样有规律的格状结构，不过它们是正方形和五边形的结构，而不是雪花的六边形。在每一个血红素基团的核心是一个色子上五点的形状：四个氮原子围绕一个铁原子。这是氧的结合位点，当只包含两个原子的氧分子粘到血红素上后，整个巨大的分子会改变它的排列，就像一个非常复杂的魔方的转动一样，当它释放氧气时，就会变成原来的样子。（红细胞也会带走二氧化碳，但二氧化碳附着在血红蛋白的不同部位。）血红蛋白中的氧和铁之间的化学键使血液成为红色。从某个角度来讲，我们依靠铁锈而活。

无脊椎动物并没有这种限制。鲎和章鱼的血液是蓝色的，蓝色来自血蓝蛋白，它能令氧气与铜结合。环节动物的"血"是绿色的，而腕足动

物和曳腮动物的“血”则是粉紫色的。

心脏的跳动不仅给身体组织输送氧气，同时也把二氧化碳和水排出体外，将消化道吸收的营养物质输送到这些组织中，并将废物输送到肾脏排出体外。它将激素和干细胞迁移到需要的地方，将凝血因子带到损伤部位，并携带许多不同的蛋白质，其作用只有部分为人理解。此外，它还调节着身体的酸碱度和温度。而在血液循环中，没有什么比适应性免疫系统更不同寻常的了。它由大量白细胞组成，没有神经，也没有中央处理器，却像一个巨大的分布式大脑，寻找威胁，探测并学习，以便采取行动，并存储可以持续一生的记忆。一些白细胞不断地改变它们的遗传物质，像随机的数字发生器一样，并创造出新的细胞，以识别潜在的多样性的病原体。这就是所谓的体细胞高频突变。它最早是从超过4亿年前的大颚鱼中演化而来的。





血红蛋白的示意图和它的4个血红素基团之一的化学式

心脏的形成

一颗人类受精卵只需36周就可以产生上万亿个、数百种不同的细胞，所有这些合作都是为了“制造”出一个人。在这些细胞中的几千个基因和蛋白质中，没有一个包含器官或人体的结构和功能的概念，它们是如何做到这一点的？实验解剖学家杰米·A. 戴维斯（Jamie A. Davies）说：“当我们了解了胚胎学的发展后，我们的集体敬畏感只会增强。”笹井芳树是利用干细胞培养眼睛和其他与心脏一样复杂的器官的先驱。他说，自组织的过程使他“完全敬畏生命”。

尽管如此，一些基本的原则还是很容易理解的，戴维斯说，首先要理解的是，没有任何一组成分，如DNA、RNA或蛋白质，是对胚胎发育的总体负责的。一个特定细胞中的蛋白质被制造出来，是因为活性基因指定它们被制造出来。但是这些基因之所以是活跃的，是因为那个特定的细胞中已经存在的蛋白质告诉它们应当如此。因此，虽然不存在总体控制，但“控制”无处不在。另一个重要的观点是，许多大而复杂的蛋白质（血红蛋白是一个很好的例子）的组装遵循与无机晶体组装相同的基本原理，其中“信息”和结构是同一事物的两个方面。与晶体一样，蛋白质的组装是可靠的、可重复的和不可改变的，尽管蛋白质的组装更为复杂。而当涉及更大的尺度，比如细胞的形状和排列时，其他因素也会起作用。研究人员开始意识到生物电的重要性，现有的细胞发出信号来引导新细胞的沉积和结构形成。此外，一个新细胞的整体形状也必须适应它所要填充的组织中的空间。然而，存在这些因素并不是说基因不重要，在心脏发育方面，基因在演化过程中的保留程度是很惊人的。例如，一个对心脏形成至关重要的基因［科学家将它命名为铁皮人（*tinman*），《绿野仙踪》里没有心脏的角色］，在人类、鱼类和果蝇中都十分常见。

其他一些在胚胎发育中起到重要作用的基因也有着有趣的名字。如“星期日的驾驶员”（*sunday driver*）基因（突变后会让分子在经过神经细胞的过程中“迷路”）、“肯和芭比”（*ken and barbie*，突变后会导致外部生殖器缺失），还有“英国铁路”［*british rail*，这种基因抑制了另一种基因的表达，被抑制的基因被称为“永远早到”（*always early*）］。一种被称为“酒吧中容易被搭讪的女子”（*cheap date*）的基因突变会使动物对酒精特别敏感。

怀孕18天之后，人类胚胎就像一个小小的果酱三明治：一个有三个不同细胞层的圆盘。很快，它将卷起来，形成三个嵌套的圆柱体，但在这之前，中间层的一些细胞开始聚集成一个新月形的圆管，围绕着圆盘的边缘。然后，当圆盘开始卷曲时，新月在形成体的前面聚集，这是心脏的前体。到第22天，管子的两端已经融合，中间的“墙壁”消失了，就像两个相邻肥皂泡之间的“墙壁”消失，融合在一起一样。到第28天，管子开始跳动——心脏是我们第一个也是最后一个会动的部位——我们第一次通过新形成的血管输送新生的血细胞。在这个阶段，胚胎的心脏看起来非常像一条成熟的鱼的心脏，血液从“尾部”流出来，随着心脏收缩而从“头”端泵出，形成单循环绕着身体流动，就像在鱼的身体里一样。

当心脏第一次开始跳动时，胚胎的心率是75~80次/分钟（bpm）——与母亲的心率相似，然后开始加速，在第7周时达到

165～185bpm的峰值，然后在第15周减速到大约150 bpm。足月时，胎儿心率大约是145bpm。成人平均心率为60～100 bpm。

单圈血液循环对人类胎儿来说足够了，它们通过脐带从母体获得氧气。这时的人类的胎儿如果开始呼吸空气就意味着死亡，原因与压力有关。鱼的鳃直接从水里提取氧气，水的密度与鱼身体里的血液相当，沐浴在母亲羊水中的胎儿也一样。然而，在陆地上，我们必须从空气中摄取氧气，而空气密度要小得多。如果我们的循环回路仍然是单一的，那么驱动血液在我们的身体内循环所需要的压力对于我们肺部的气泡薄壁上的毛细血管来说就太高了。它会把血液推到肺部，填满空气所在的位置，我们会窒息而死。这就是为什么陆地动物必须进化出双循环回路，在肺循环中的压力较低。最初的陆地动物用3个腔室来形成回路，今天我们仍可在两栖动物身上找到这种配置。然后，从初龙（恐龙和鸟类的共同祖先）出现的时间开始，它们演化出了4个腔室。从敏捷的鹪鹩到强大的蓝鲸，拥有4个腔室的心脏已经足够为每一种动物提供能量，从那以后，心脏的基本结构几乎没有什么变化了。

当一种叫作静脉型肺动脉高压的病理状态未被治疗时，就会发生这种情况。

4个星期后，人类心脏的一条简单管道开始膨胀并扭曲，就像一只空袜子从两端向中间推了一下一样。鼓胀区域产生一系列的腔室，主要是一个心房和一个心室。管子扭曲成一个S形，然后把心房推到心室后面。然后，心脏开始划分为左右两部分，就像滑动门逐渐关闭一样。心室完全被分为两部分，流出管道也被分开，形成向上伸出的主动脉和肺动脉干。在心房里，隔膜从心房的顶部向下生长，但在它到达底部之前就开始在顶部穿孔，在左右心房之间留下一个椭圆形的开口，称为房间孔。第二片隔膜长在第一个下面，这一片隔膜没有到底部，留下了一个洞。有了这个洞，血液可以从心脏的这半边流到另一边，同时仍然像鱼的两腔心脏一样运作。

当婴儿出生并开始第一次呼吸空气时，它的肺开始膨胀，肺内部的压力下降。这使得血液被吸入肺部周围扩张空间的毛细血管网中，随后，一股含氧的血液穿过肺静脉，进入左心房。左心房压力的上升将第二隔膜推向第一隔膜，永久地关闭了两者之间的阀门。在接下来的几个月里，隔膜融合在一起，尽管最初的开口痕迹依然存在，在一些不幸的婴儿身上，这种密封并不紧密——形成一种被称为室间隔缺损的状态，也就是说心脏里有一个洞。但如果一切顺利，我们就有了一颗功能齐全的四腔心脏，我们第一次吸入空气时，就像给一只胖乎乎的金表上了发条一样。

我们的心和它们按照节奏泵出的血液，贯穿了我们的整个生命周期。每秒振动数百万次的红细胞，也是我们出生和死亡的连续循环的重要组成部分。它们在骨髓中形成，在进入血液之前抛弃了细胞核，因此通常只能存活大约120天就会退化，并被新的细胞所取代。在一个人体内，任何时候都有万亿个红细胞，每秒钟产生和溶解的红细胞大约有250万个，每天数亿个。此外，我们的身体每天也会产生数千亿个新的血小板（它们通过聚集和凝固在血管损伤处来止血）、约100亿个白细胞（免疫系统细胞），并摧毁同等数量的细胞。

从我们生命的时间尺度的另一端看，血液中的一些免疫细胞能陪伴我们度过一生的大部分时间，甚至终生。而心脏中的大多数细胞也是从我们出生到死亡的时间里一直存在的。事实上，过去人们认为，在我们出生后不久，心脏的细胞就停止分裂了，我们生活和死亡时体内的心脏细胞几乎完全是出生时就存在的。然而，在过去的十年研究中，科学家发现这并不是绝对正确的。即使心脏在不停地跳动，它的一些细胞也在更替。这个周转是非常缓慢的——每年大约有1%的心脏细胞被替换，直到20岁，这个比例在此后逐渐下降——但是这个速度对于细胞转化来说已经足够了。这一发现可能有助于心脏治疗方法的发展，以提高心脏细胞的再生率[注]。当然，事实仍然是，在大多数情况下，我们的心脏坚实、持久且难以置信地坚韧，即使周围的身体器官产生各种变化，它也依旧如此。

日常生活的节奏处于两种极端值之间，从每秒钟数百万次到一生只有不到一次。而且，以我们所有的分析和技术能力，我们永远无法摆脱这些节拍，更不用说我们的异化能力了。

情绪的居所

20世纪90年代，研究人员在猕猴的大脑中发现了“镜像神经元”，当它们看到或模仿其他猴子的行为时，这些神经元就开始工作。这一发现引起了巨大轰动。神经科学家V. S. 拉马钱德兰（V. S. Ramachandran）在它们身上看到了“人类非凡的共情能力”的基础，尽管这些神经元是在猴子身上发现的，而不是人类。研究人员称其为“甘地神经元”，因为它们打破了人与人之间的障碍。从那之后研究者对此的关注变少，但我们知道，像许多其他哺乳动物（特别是大象、鲸鱼和海豚）一样，人类有强烈的同情和共情的倾向。我们也知道，尽管这可能在大脑中无意识或有意识地显现，但它也在心脏中表达。大卫·休谟的音乐隐喻——人类相互共鸣，就像同样长度的绳子在同样的张力作用下发生共振一样——事实上这几乎是正确的。

“如同受到同样张力的弦一样，一个人通过动作与其他人交流，因此

所有的情感都很容易从一个人传递到另一个人，并在每个人身上产生相应的动作。”——大卫·休谟

每年的夏至夜，按照古老的传统，西班牙圣佩德罗·曼里克的村民会赤脚走过7米长的红色火炭。2010年，研究人员监测了这群火行者的心率，发现他们心率每分钟能接近200次，达到了步行的最高值，理论上，这足以引起心脏病发作，但他们看上去一直很平静，事后也没有表现出不良影响。研究人员还监测了火行者的朋友和亲属的心率，以及陌生人旅客的心率。他们发现，在整个事件中，这些人与火行者有近乎一样的心率节奏，紧张和放松几乎同步。但是，研究人员发现，火行者和另一个人之间的社会联系越紧密，他们的心跳节奏就越同步。配偶或亲密伴侣的心跳节奏的相关性比朋友强，朋友比陌生人强。这种相关性是如此强烈，以至于研究者可以通过观察人们心率模式之间的相似性来准确地预测他们的社会亲密度。

在频谱的另一端，社交孤立、焦虑和抑郁往往与心脏病和心力衰竭密切相关。苏联解体后出现了社会混乱和经济紊乱，这两种情况随之大幅上升。在今天的英国，独居的人患严重心脏病的风险加倍：人真的会死于一颗孤独的心。

也许有一天，人类或后人类将不再有心跳。能泵出平缓、连续流动的血流的人工心脏已被证明可在短期工作。而长远地看，我们真的和人工心脏生活在一起似乎不太可能：数亿年来动物的血液量先激增后不变，循环系统也与之共同演化，产生了各种微妙但重要的影响。但如果我们能顺利制造出能长期运转的人工心脏，我们会失去心跳吗？即使被其他上千种声音掩盖了，心跳的缺失是否依然会让人觉得自己内心深处的某些东西已经死去？也许设计者会设计出一种虚假的节拍和振动，就像他们设计出汽车门上听起来很昂贵的声音或者手机上的触觉反馈一样。

已经存在的干预措施可以取得惊人的成就，但也不可避免地存在缺陷。罗宾·罗伯逊（Robin Robertson）在他的诗《减半》（The Halving）中描述了一项手术，替换他心脏中的一个存在天然缺陷的主动脉瓣。罗伯逊描绘了手术之后，谵妄和痛苦如何让位于“黑暗”；这是一种情绪和认知的紊乱，有些人称之为“泵头”。在《认识身体》（*The Adventures of Human Being*）一书中，医生兼作家加文·弗朗西斯（Gavin Francis）解释说，有三分之一的患者在手术中心脏被停止，血液通过旁道机泵送至心脏时出现了“泵头”现象。有些人变得暴力，有些人变得安静，而另一些人则满嘴脏话。为什么会出现这些情况，原因不明。可能是外科手术或血液中的气泡把微小脂肪颗粒从动脉中释放出来，扰乱了大脑的血液流动，也可能是由于人的胸部被撬开，肋骨被楔住而导致脑部发炎，还可能是在旁路机器中血液被冷却产生的副作用。但是，弗朗西斯说，可能还有另一个原因：即

便是最现代的机器也无法模仿心脏的自然脉冲，而心脏的内在节律或许对我们的健康至关重要。

生命的韵律

音乐的一个特点，也许是它最重要的一个特点是它让人与人之间产生联系。我们可以推测，它的诞生与发声、歌唱和身体的节奏运动有关，从随着时间打节拍到全面的舞蹈。音高和节奏在整个身体里，特别是在包含心脏和肺的胸腔里振动，人在唱歌的时候尤为如此。协和的音程也会产生共鸣，既可以是单音的泛音，也可以是在复调中与他人合唱出的和弦。在这样的时刻，我们能感觉到我们正进入生命存在的核心。有了音乐，我们可以越过遥远的距离被感动，并感动别人。

> “每一首歌中都有距离……所有的歌曲都是含蓄的，内容经常是关于旅行的……歌曲在被传递的过程中，缺失被分享，变得不那么敏锐，不那么孤独，不那么沉默。原始缺失的减少……在集体经验中被认为是某种胜利。”——约翰·伯杰

17世纪早期，罗伯特·弗卢德用一张宇宙七弦琴的图像来表现毕达哥拉斯心目中通过协和音程中的数学比例而创造的宇宙的图景。今天，心理学家、音乐学家和其他学者首次在神经科学或生理学等领域发现了与此类似的结构。例如，如果两个音形成一个八度，一组听觉神经元的激活可能是比另一组的两倍。不同神经元激活的快慢有着相同的可预测的关系，而对两者都敏感的神经元则会得到一个可预测且易于解释的重复模式。我们体验到和声的基础，可能是在知觉的早期阶段的成功预测——激活大脑中的奖赏回路。这一切可能是真实的，但有更多是未知的。我刚刚介绍的和声理论来自弗兰克·维尔切克，他还认为原子和光的方程式实际上就是控制乐器和声音的方程式。

> 一项对来自世界各地的数百个音乐录音的研究发现，在18种音乐中存在着6种节奏共性。这包括稳定的节拍；二拍子或三拍子节奏（分别相当于进行曲或圆舞曲的节奏模式）；对二拍子节奏的偏好；规律的弱拍和强拍；每首歌只有有限数目的节奏模式，以及使用这些模式来创作音乐动机，或连复段（riff）。

但是无论音调、和声和音色如何，节奏对于人类喜爱的几乎所有的音乐都是至关重要的。它提供了一个框架，让一个单音的高频率振动或多个同时

发出的音高组成的和声在一个音乐叙事中展开。节奏在传统中一直是至关重要和普遍存在的——无论是在贝多芬和舒伯特创作的弦乐四重奏中，在夜总会的舞曲里，还是在非洲中部俾格米人的歌曲中。有的音乐可以几乎只由节奏组成，就像史蒂夫·赖希的《拍手音乐》（*Clapping Music*）一样，或者增加了音色变化这一项，如他的作品《击鼓》（*Drumming*）。约翰·凯奇（John Cage）表演的《4分33秒》中，也包括了呼吸的声音，以及非常专注的听众自己的心跳声。

音色——一段乐音的品质或质量——被作家和记者蒂姆·福尔克纳（Tim Falconer）描述为音乐的气味或“地方风味”。

除了心跳之外，身体的其他节奏对音乐也有影响。舞蹈、跑步和行走中的规律性动作明显发挥了重要作用，但音乐从来没有完全脱离心跳。一般来说，音乐的节奏速度变化范围与我们的心跳频率变化范围相当，尽管有时音乐会出现每分钟低于30拍（极缓板）和超过200拍（最急板）的情况。

重复和可预测性是几乎所有音乐的重要特征，但我们也享受不同节奏模式之间的变奏和变化，只要别太过火。这在切分音中体现得很清楚。某项研究中，参与者听到了乡土爵士乐（funk）由鼓奏出的即兴独奏段中不同程度的切分音，评估了自己对不同切分音的喜好程度以及这些段落让他们想要舞动身躯的程度，结果发现，切分音是“对出色演奏的具体表现和情感反应的重要的结构性因素之一”。这听起来像是一种没什么用的说法，好像只是说出了一个显而易见的道理——出色的演奏会让人动起来，而且感觉不错。但研究人员有一个严肃的观点：中等程度的切分音让人最想舞动并引起最愉悦的感受。切分节奏赶着我们向前——例如，“地，风，火”（Earth, Wind & Fire）乐队的《布吉仙境》（*Boogie Wonderland*），速度持续高达每分钟132拍但同时保持着节拍框架的稳定，把我们牢牢地锚住。但同样重要的是，节奏不能太简单，也不能太不规则，难以预测。在史蒂维·旺德（Stevie Wonder）的《迷信》（*Superstition*）中，几条彼此协和的旋律线同步叠加，节奏在整体上是平稳和可预测的，但在细节上却令人费解和难以预测：这是一种“受控的自由”，其效果是极具能量的。

切分音指“正常流动的旋律的干扰或中断”，“在正常情况下不会发生的、有节奏的重音”。其原形“Syncope”为医学术语，意为“晕厥”，派生自一个常见的词根，意思是“击出”或“切断”。

心跳声太单一且过于节奏化，可能是充血性心力衰竭的警告信号。

川流不息

音乐有时可以拯救生命，但有时是不够的。我们需要尽可能直接地连接到比人类更大尺度的节奏。我曾去过许多荒野和潮湿的地方，那里很少有人涉足，因此土地本身就更有活力，在上面行走，原本看起来不重要的事情也会变得清晰起来。人在不平坦的地面上移动，心脏和肺都在努力工作，每一步都会带来绊倒和跌倒的危险，但也有一种“连接感”，即身体与陆地之间的对话，而不需要意识头脑的介入。每次当脚撞击地面时，一个振动通过腿部传递，形成一个节拍。这个节拍通常是规则的，但有时也会随着步幅长度、岩石或土壤的质量或上下坡的角度的变化而变化。在这种情况下，我自己的“泵头”——当我面对电子屏幕的时间太长，或是思考太多关于“这个世界”如何运转的问题，而进入一种令人恶心的、脱离实际的状态——就会逐渐开始消散，尽管我在用体力走路，但我的内心是平静的。

> “每一道风景都有自己独特的灵魂。”——克里斯蒂安·莫根施特恩（Christian Morgenstern）

当我们呼吸新鲜空气时，肺将世界直接连接到心脏。一些风——其中包括焚风、累范特风、圣安娜风、沙拉夫风和西罗科风——在到达或即将到达时会带来动荡。但我也遇到过一些仁慈的风。大约20年前的冬天，我曾帮忙驾驶一艘小船横渡北大西洋。从百慕大往东走到亚速尔群岛，我们有好几天遇到平稳的风，小船在水里沿直线滑过，像一块手抓着的湿肥皂。夜里，风也一直在吹，在繁星的照耀下，它仿佛获得了完美的自由。直到几年之后，这股风还会出现在我最幸福的梦里。

> “注意：这轻风，拂面的微风，是死神的凝视，它不断地注视着我们，来自远方，令人入迷——这是一种预感，在这之后会有一阵强风，它将把我们带到它的怀中，就像风中的尘粒。”——弗朗西斯科·冈萨雷斯–克鲁西（Francisco González Crussi）

> “……风，填满了所有的行动；永恒的颜色和永恒的光，海洋的颜色和海洋的光。”——胡安·拉蒙·希门尼斯（Juan Ramón Jiménez）

直到十年后，我才又有了相似的经历。我去菲律宾见安东尼奥·奥波萨（Antonio Oposa），他是一位律师，致力于拯救曾经辉煌的雨林和珊瑚礁的遗迹，以便后人可以重建它们。有一个晚上，我们住在一座简单的建

筑中，这曾经是奥波萨父母度假的住所。那座房子矗立在离城很远的小岛岸边，屋檐敞开，海风吹了一整夜，缓解了白天的热气和湿气，在梦中仿佛有一条来自童年的小船向前行驶。许多年过去了，如今我甚至偶尔还会在我所居住的城镇里捕捉到一阵如梦般的微风。它不时地出现，尤其是在温暖的春夜中，空气带有泥土和树林的气味，甚至还带有50英里以外的大海的咸味。万事万物都在呼吸，感受到这一点，我感觉我的心跳刚刚好，不再感到窒息。

20世纪90年代，奥波萨在菲律宾最高法院赢得了一场法律诉讼，以保护儿童和后代拥有完整热带雨林的权利。这一案件在国际上享有盛名。

罗伯特·弗卢德和其他神秘主义者声称，人体包含更大的世界或宏观世界的所有特征，是宇宙的缩影。你不用在字面上全盘接受他的观点，也能发现不同尺度的相似性和共鸣。达·芬奇在对心脏的研究中发现，当它通过主动脉中的瓦尔萨尔瓦动脉的窦时，血液会形成漩涡。达·芬奇通过他所制作的透明玻璃模型，发现湍流有助于主动脉瓣的顺利运作。在此基础上，他建立了早期对河流中湍流的影响的观察。今天，我们也可以从更大的尺度上欣赏这种流动。正如牛顿所说，自然是“一个永存的循环工人”。1686年，他同时代的埃德蒙·哈雷（Edmund Halley）创作的信风地图表明了这一点的真实性。今天，人们对这些过程的理解更详细了。例如，在海洋表面的风吹水流中有漩涡，通过NASA的永久海洋可视化计划绘制的美丽的动态地图，我们的眼睛就能清晰地看到它们。

英语中的“petrichor”来自希腊语的“petra”（意为石头）和“ichor”（意为神的流体），是下雨前或雨水落在炎热、干燥、多石的地面上时空气的味道。根据这种构词法，我们还可以得到“chomichor”（choma意为土壤）和“dasichor”（dasos意为林地）等词。



洋流在许多方面与血液循环不同，但也有相似之处。一些表层海流的形式类似于达·芬奇所看到的流动，海水的混合和流动也对大量生命的延续至关重要。我们看到的表层海流——从非洲南部的阿古拉斯海流向西流动的烟圈形状，到从日本延伸到太平洋地区的“黑潮”汹涌的波澜——与其他一些不太容易被发现的流动有关。在地球的某些地方，富含氧气的水会深入海洋底部，然后经过1 000年左右的循环，它会再次出现在地球表面。目前，全球变暖的大部分额外热量正在被海洋吸收。其后果（可能以目前已经在一些地区出现的快速缺氧为先兆）很难预测，但很有可能是破坏性的。只要有一个小小的、强有力的节拍继续存在于我们的内心，我们就可以成为未来各种变化的见证人和行动者。

---

1. 2018年10月，哈佛大学在发现心肌干细胞领域创始者数十篇论文涉嫌数据造假后，一次性撤回了这些论文。十多年来，关于心肌干细胞的研究一直因难以重复和验证而饱受质疑，哈佛大学的这一举动，在很多人看来无异于标志着整个心肌干细胞领域就是一场骗局。

第4章
头部的超级物体——大脑

大脑是一个由许多未被探索的大陆组成的世界，它是一个巨大的未知领域。

圣地亚哥·拉蒙-卡哈尔

这种可能性暗示着梦想，不管多么荒谬或毫无意义，都没有在宇宙中被浪费。

布鲁诺·舒尔茨

仿佛海洋要分开——

并显露出一个更远的海洋——

艾米莉·狄金森（Emily Dickinson）

我让朋友和熟人推荐一些附近廉价的或者不用钱就可以看到的奇妙的事物时，许多人都提到了在沿海滩涂上觅食的成群的鸟，它们在涨潮时成群地飞上陆地。作家罗伯特·麦克法兰（Robert Macfarlane）特别提到了红腹滨鹬——鹬家族中一种粗壮的涉禽。他解释说，在冬季，红腹滨鹬的头颈部是银灰色的，下身是白色的，它们飞行时光线照射在它们身上，看起来就像雪或冰的斑点一样明亮。接着，它们凑成一群然后消失了——就好像它们从我们所在的维度滑入了另一个维度一样。然后它们转过来，又一次出现在我们的世界里。“这样的景象绝对令人着迷。”

所以在春分那天天还没亮的清晨，我来到了英国皇家保护鸟类协会斯内蒂瑟姆保护区，这是一个在诺福克海岸线头骨状的曲线上的自然保护区，它俯瞰着英格兰东海岸的一个大型浅水湾，即沃什湾。这里涨潮时，海里的红腹滨鹬和其他鸟会大量涌上海岸，在一个在“二战”中为建设跑道而开采沙砾所形成的潟湖旁栖息。我来这里不需要任何理由：天空中是规模浩大的鸟群，那是成千上万只在空中盘旋的椋鸟，像是变形为一只巨大的生物（这种行为可能是为了威慑和迷惑捕食者而演化出来的），这是我所知道的最美丽的事情之一。后来，我们了解到这一运动与超流体氦的运动都可以使用同一种数学方法来描述，这又使得奇迹感得到了增强（超流体指气体被冷却到接近绝对零度，所有的原子都处于同样的量子态的状态）。甚

至暗物质——宇宙学中的一个大谜团，可能也以类似的方式呈现。这样的鸟群就像音乐一样，如托马斯·布朗所说的“关于整个世界的复杂难解的一门课”。

我看见的第一个惊喜，是发现海水原来可以在泥滩上“跑”得那么快。这是潮汐周期中最高的潮水，这片水就像猛涨的河水一样，翻滚而过。潮汐如危险的猛兽，令人未见其形先闻其声，而在泥地上的鸟儿从潮汐的边缘上飞起，像划过竖琴的灵活手指，当迎面而来的潮水稍微靠近海岸时再俯冲下去。它们重复了几次这个动作，直到最后潮水边缘没有泥可以立足了，它们才开始飞到我站的潟湖的沙洲上。

然后是第二个惊喜：在我头顶几英尺的地方，成百上千的红腹滨鹬一群接一群飞过，发出嗡嗡声。我找不到词语来确切地形容这是一种怎样的声音。它和飞机螺旋桨的轰鸣声不一样，并没有引擎驱动螺旋桨的噪声。它有点儿像一种吼板的乐器——这是一种古代乐器，有时也被称为气鸣乐器，在某些传统文化中与神有关，但也不是很像它们。这个声音很响亮，但可以分辨出来它们由很多较短的声音组成——每一对翅膀扇动的声音到达耳朵只有几分之一秒的间隔，其音色和音调也有细微的不同。从整体上看，这种声音是巨大，且振奋人心的，但我们仍能从中听出些许温柔。过了一会儿，红腹滨鹬在阳光下发光、消失又出现，也是相当奇妙的景观，但是它们的飞行声音在我心上产生的共鸣比它们的飞行状貌更长久，更强烈。

> 我们能探测到的声音最小的时间间隔在1/100 000到3/100 000秒之间。

感知奇迹

在《奇迹、彩虹和罕见体验的美学》（*Wonder, the Rainbow, and the Aesthetics of Rare Experiences*）中，学者菲利普·费希尔写道，奇迹是一种与可见世界的关系，因为“只有视觉是瞬间的，整个物体和它的所有细节都同时呈现出来”。以直觉来看，这似乎是对的。但一些证据和思考表明，真相其实更大、更复杂。当然，视觉是人类最丰富的感觉功能，能够为我们提供饱含细节且微妙的印象，但它不像看起来那样单一或瞬时（它甚至不是感觉中最快的）。视觉看起来可能毫不费力而直接，但它需要多达1/3的大脑皮层参与处理。我们的所见也在不断地被我们所听到的、触摸的或通过其他方式感觉到的事物，以及我们的情绪、记忆及已经理解的事物所塑造。从这个意义上说，我们感知到的并不是物体本身，而是我们

自身。

那一天在斯内蒂瑟姆海边的奇遇就不仅仅是视觉的，更是听觉的。光的传播速度可能比声音快100万倍，但因为大脑中处理声音的过程比处理视觉的过程短，所以我们在看到之前就已经听到了。这种直接性（英语中“immediacy”这个词来自拉丁文“没有干预”的意思）可以产生一种内在感知，这或许是神圣场所经常有不寻常的声音和共鸣的部分原因。古代的人们就很好地认识到了这一点：史前岩画往往精确地位于回声最强的地方。当他们在一个洞穴或岩石表面附近会产生回响的环境中敲击用于制造工具的燧石时，会产生一个音调很高的拍动声，就像鸟儿飞过的声音。音乐学家伊恩·克罗斯（Ian Cross）和人类学家埃兹拉·祖布罗（Ezra Zubrow）是彻底的理性主义者，但也认为这种影响的再创造是“相当超自然的……（好像）唤醒了一些真实但无形的实体”。

当我们听声音时，声音通过鼓膜传播，经过三个微小的骨骼到达耳蜗，不同频率的声音在其蜗牛状卷曲内部的不同点产生回响。膜的振动带动与神经相连的微小绒毛的振动，神经伸入大脑，大脑对信号进行处理。这个系统灵敏得惊人。在合适的条件下，我们可以听到幅度小于氢原子直径的振动。

在日常生活中，我们通过五种感官来有意识地感知：看，听，闻，触摸，品尝。［在这样做的时候，我们可以感觉到自己活着；有时，仅仅是注意到一件事就可以带来一种接近禅宗学者铃木大拙（D. T. Suzuki）称之为“顿悟”的状态——一种“就像是普通的日常生活的体验，但离地约两英寸”的感觉。］但我们通往世界的通道还不止这些。据统计，我们有多达20个感官系统，包括感知温度、疼痛、瘙痒和本体感受的体感系统在内，本体感受使我们能够意识到我们的头部及四肢的位置和运动（例如，当你闭着眼睛的时候，还可以用手指触摸你的鼻尖）。

但是那个清晨在斯内蒂瑟姆海岸的奇遇的感官基础却是我们很少考虑到的。当我抬起头，歪着脑袋聆听，并在红腹滨鹬飞过时候迅速转头时，我的前庭系统记录了我头部的运动和方向变化。它在1/10秒的时间内收集和处理信息，并告诉我的大脑，我的眼睛需要如何移动才能跟上鸟的快速运动并保持对焦。它同时还在继续监测重力的方向，以便我保持直立。

距离头骨侧面两指远，在耳蜗旁边，位于3个互相垂直的面上（像立方体的3个相邻的面）上的3个环就是半规管，其直径从1美分硬币到一个5便士硬币不等注。每个半规管都是一个中空的管，里面充满了液体，当头部移动时，液体会在管内壁上的微小绒毛上流动。嵌入在管道两侧的神经记录这些绒毛在流体中的运动，使我们能够感觉到旋转和加速。在管道底部

3条半规管相交的地方，有两个耳石：在耳垂状胶囊内的小传感毛发上的微小碳酸钙颗粒。耳石在重力的作用下会告知我们哪个方向是向下的。半规管和耳石是我们的陀螺仪、加速计和海锚。它们一直在运行，持续为我们提供头的位置和它相对于地球的变化率。它们会“听”到我们在哪里，以及我们要去哪里。如果没有它们，我将无法目睹红腹滨鹬的飞行及其他活动，如果它们发生故障，我就会感到恶心，或跌倒，或两者兼而有之。

前庭系统是一个在演化方面很古老的系统，它在我们最早的动物祖先身上就发展起来了，早于听觉和视觉处理系统，它与脑干的网状核结合在一起，网状核是另一种古老的系统，它发出的脉冲传递到整个大脑，使我们保持清醒和警觉。与网状激活系统一起，前庭系统与大脑的其他部分联系密切，因此，它对各种各样的大脑功能都有影响，从最自动的反射到最高的意识水平。它令我们得以在这个世界上走动，并作为一个综合的、有自我意识且平衡的生命体来关注这个世界，比如帮助我到达有红腹滨鹬的地方，追踪它们的飞行，体验到其中的良好感觉。前庭系统对低频和耳蜗记录不到的低于约20赫兹的次声也很敏感，因此它有时被称为身体的耳朵。研究大象多年的保护生物学家说，他们有时会感知到那些已经几小时、几天或几周内没有出现的动物何时出现——对它们随后回归的预测几乎是完全准确的。据推测，这是因为科学家通过他们的前庭器官从靠近的大象身上“听到”了低沉的声音，而自己并未意识到这一点。

水母与我们在5.4亿年前有同一个祖先，它们拥有与我们内耳耳石相似的东西。

大脑的奥秘

前庭系统的工程之美完全不是肉眼可见的，但我们不难理解它是如何工作的，至少可以大致理解一下。相比之下，大脑则复杂得令人生畏。尽管在120年以前，圣地亚哥·拉蒙–卡哈尔等人向我们证明大脑是一个神经网络，令我们对于大脑的认识取得了重大进步，但是，大脑的许多方面我们依旧难以理解。心理学家和神经科学家加里·马库斯（Gary Marcus）说，研究人员尚有许多关于大脑如何管理其复杂系统的组织原则未发现，更别说提出一个理论来解释大脑是如何运作的。

人们常说，人脑是宇宙中除宇宙本身外最复杂的已知事物。这一说法很容易使人们忽略它到底有多复杂庞大。但时常出现的细节研究有助于我们形成认知。大脑里面大约有**1 000**万亿——10^{15}个连接。这个数字太惊人了。在这些连接发生的每一个突触处，至少有几百个不同的蛋白质进行自

组织来调节突触小泡的融合、循环和运动，这些小泡用于神经递质的释放，每次突触触发时，它们在储存库、活动区和细胞膜末端间运动，它们每秒钟可以进行几百次这样的活动。2016年，研究人员公布了他们花了一年多的时间制作的这些大规模组织的蛋白质的图像，但它只是描述了这一过程中的一个瞬间，而整个系统还在以难以想象的速度不停运转。在我阅读这篇关于该图像的简短论文时，“超级物体”（hyperobject）这个词浮现在我的脑海中，这个词是文学理论家蒂莫西·莫顿（Timothy Morton）创造的，用来描述那些存在于正常的时间和空间之外而无法被我们感知和理解的事物。莫顿发明这个词的时候，指的是类似气候变化、大灭绝和放射性钚等事物。考虑到大脑在与时间、空间和维度的关系上也无法被感知，我认为我们可以将大脑称为头上的“超级物体”。

人脑存在于奇迹与恐惧中，它的含义幽深，难以言喻。但尽管它如此复杂，我们同样可以说出一些关于它的简单又真实的信息。毕竟，它只是身体里面的一个器官——一块和椰子的大小和重量都差不多的东西，质地像果冻或者黄油一样柔软，在人死后同样会腐烂。在《回家》（*Going Home*）这首歌的歌词中，伦纳德·科恩（Leonard Cohen）提到了另一个自我（可能是一个虚构的角色，也可能是一个真实的自我），他知道自己不过是“一管简短精辟的描述”（a brief elaboration of a tube）。我们不必认为那就是科恩（或者任何人）的全部写照，但必定有一些影子。本着这种精神，我将介绍7种与大脑相关的观点。每个观点后面都有一段详细的阐述——其中有一些内容比较简短，有一些稍长，以揭示观察结果后面的本质。当然，与已知的研究相比，我最长的阐述也是相当粗略的（而且可能很快就会过时）。然而，我希望它们足以成为引起好奇，或是惊奇的出发点。

1.大脑的交互、预测和创造

“头盖骨是太空旅行者的头盔。”弗拉基米尔·纳博科夫（Vladimir Nabokov）写道。大脑被锁在骨骼组成的坚硬的盒里，从表面上看，它只是一个惰性的肿块，但事实上，大脑是身体里最活跃的器官，尽管它只占到我们体重的不到2%，但它需要消耗我们20%的能量。它很饿，因为它是我们最敏捷、最具开放性的器官，能在千分之一秒内对环境的变化做出反应，并监控和控制身体内部多个过程。神经学家安东尼奥·达马西奥（Antonio Damasio）认为：“大脑直接代表了有机体，并间接代表了有机体与之相互作用的一切。”大脑在意识的流动及行动的激活之间做出区分，并管理二者间的交互作用。“智慧就存在于大脑正中，”拉里·阿伯特（Larry Abbott，另一位神经学家）说，“那是行动之所在。”



“人类的大脑是地球上最具开放性的器官，对一切开放，向每个人发送信息。”——刘易斯·托马斯

神经元网络不仅会对外界事件做出反应，也在不断地相互刺激。无论你是醒着还是睡着了，大脑的两个半球都在不断地产生高频电波。处理外部刺激——来自大脑外部的数据——所消耗的能量只占大脑消耗的总能量的一小部分：约小于5%。认知心理学家斯坦尼斯拉斯·德阿纳说：“神经系统主要作为一种自主装置而存在，能够产生自己的思维模式。”

大脑是至关重要的，但它也不是一切。正如计算机科学家本·梅德洛克（Ben Medlock）所说的，人体内万亿个细胞中的每一个都是一个网络化的机器，拥有大量的部件，就像一架大型喷气式飞机，它的祖先在数十亿年中与自然界进行着接触并演化。在我们产生意识之前，我们的细胞就在从环境中读取数据，并协同努力将我们塑造成强大的、自我维持的智能体。我们不仅仅在用大脑而是整个身体来思考。

神经元网络正在做的事情之一可能是根据你过去的经验，预测你将会遇到什么。然后，他们会根据新的信息修正和更新这些预测。例如，当我们有了看到什么东西的印象时——不管是柠檬（lemon）还是旅鼠（lemming）——视觉皮质都会向大脑中央的信息中枢——丘脑发送数倍于眼睛看到的信息。神经学家卡尔·弗里斯顿（Karl Friston）把我们的大脑称为“多层概率预测机器”。大脑从眼睛里获取信息，更新一个它已经相信存在于那里的东西的图像。从这个意义上说，大脑预先创造了一个世界：在它看见之前，它就开始记忆、梦想和想象了。

2. 大脑的神奇结构并不难理解

至少，大脑的结构并不难以粗略理解。神经学家克里斯托弗·科赫（Christof Koch）提出，一种视觉化大脑的方法是将其与森林进行比较——特定的某一种森林。科赫认为，大脑中神经元的数目就像亚马孙平原中的树木一样，神经元多样的形状也与树根、树枝和覆盖着藤蔓和攀缘植物的叶子相类似。他说，想象一下我们坐在一架小飞机上，在亚马孙平原上空飞行几个小时，你或许就会感受到自己两耳之间这个介于粉色和灰色之间的东西的光辉和多样性。

圣地亚哥·拉蒙–卡哈尔也打过类似的比方：“我们可以说，大脑就像一个种植着无数树的花园……由于有了智慧的栽培，它们可以长出更多

的枝丫，把根扎得更深，从而产生更多样、品质更好的果实和花朵。”

这种对比是美丽的，只要别把它看成是精确无误的描述，望文生义就行。比如，这些数字并不是完全正确的，因为最精确的估计认为亚马孙雨林的树木数量约有3 900亿棵，这是人脑中神经元数量的4倍多，人脑神经元数量目前估计约为860亿。尽管如此，这也是一个巨大的数字，接近银河系中恒星的总数。换算成树木的话，这么多棵树将覆盖约120万平方千米的土地，这几乎是得克萨斯州的两倍、威尔士的60倍。至于多样性，亚马孙河流域有大约16 000种不同种类的树木，而人类大脑中不同种类的神经元的数量也至少有几百种甚至多达上千种。一个正常的神经元有大约15 000个树突棘，每一个树突棘上都进行着繁忙的活动，不断形成和重组，这也很像一棵大树上的树枝和树杈。

这么多种神经元大致可分为三类：感觉神经元，把信息从感觉器官传递到大脑；运动神经元，从大脑发送指令到肌肉和器官；中间神经元，在邻近神经元之间中转信息或跨越更远的距离在大脑的不同区域之间传递信息。

因此，尽管亚马孙雨林的规模与大脑不完全匹配，但大脑确实像一片巨大的森林，比伊塔洛·卡尔维诺（Italo Calvino）《树上的男爵》（*The Baron in the Trees*）一书的主人公科西莫·皮奥瓦斯科（Cosimo Piovasco）——一位敏捷的贵族一生探索的森林还要大得多。但是我们需要把它想象成一种特殊的“森林”，树木的枝丫和根都堆叠在天空中（在大脑中至少有6层）并延伸到地平线上：一种由皮拉内西或埃舍尔所重构的维斯特曼树林或黑岩树林(注)。在这些“灌木丛”中，一些神经元的轴突从细胞的中心体中传递出电脉冲，像极长的根或藤蔓一样伸展。如果将大脑皮层中的一个锥体细胞放大，让它的主细胞体有人的身体那么大，它的轴突将从直径几厘米延长到超过1千米。

当然，大脑和森林之间的另一个不同之处在于它们之间的交流方式。树木之间用化学信息、振动和其他信号互相交流，这些信息被称为“树木万维网”（the Wood Wide Web）。但是，据我们所知，树内部或树与树之间没有任何一种传播方式能达到大脑神经元之间的电化学传递的速度。化学物质可能需要一个小时的时间才能到达树木需要的地方，以保护树叶免受攻击。而在神经元内部，信号从像树枝状的树突传递到细胞体进行处理，只需要千分之一秒的时间。然后，这个过程的结果就会以相同的速度沿着轴突传递至神经突触，与其他神经元的树突进行交流。因为整个过程只需

要花费千分之一秒的时间，所以神经元就可以每秒发射几百个这样的动作电位，在时间精确的序列（叫作脉冲序列）中编码信息。然而，通常情况下，作为网络的一部分的神经元，其数量约以百万计，它们活动的浪潮会穿过这些网络，如同阵风和狂风吹过树林——不过这些“风”位于细胞内，而非它们的上方和周围，而一些神经元则直接与远处的其他神经元相连。

如果你拉远镜头，从单个细胞看向整片组织，就会得到外科医生那样的观察结果，大脑又以另一种方式令人惊叹了。作家卡尔·奥韦·克瑙斯高借神经外科医生亨利·马什（Henry Marsh）的显微镜进行观察，描述了他看见的风景：

> 我感觉自己好像站在山顶上，凝视着一片平原，上面有长长的蜿蜒的河流。在地平线上，有更多的山脉上升，其间有山谷，其中一个山谷被一座巨大的白色冰川覆盖。一切都闪闪发光。我好像被传送到另一个世界，这是另一个宇宙的一部分。一条河是紫色的，另一条是深红色的，它们穿过的风景充满了陌生的色彩。那是我凝视时间最长的冰川。它像一个在山谷之上的高原，白得耀眼，像阳光下的雪山。突然，一道红色的波浪涌起，漫过白色的表面。我从来没有见过这么漂亮的景象。当我直起身子，移到一边去给医生腾出地方来时，我的眼睛里满是泪水。

将目光从外科医生的显微镜上移开，放到肉眼可见的日常物体的范围，这些景象都是不可见的。我们所能做的，只有了解一些关于大脑整体架构和组织的知识。

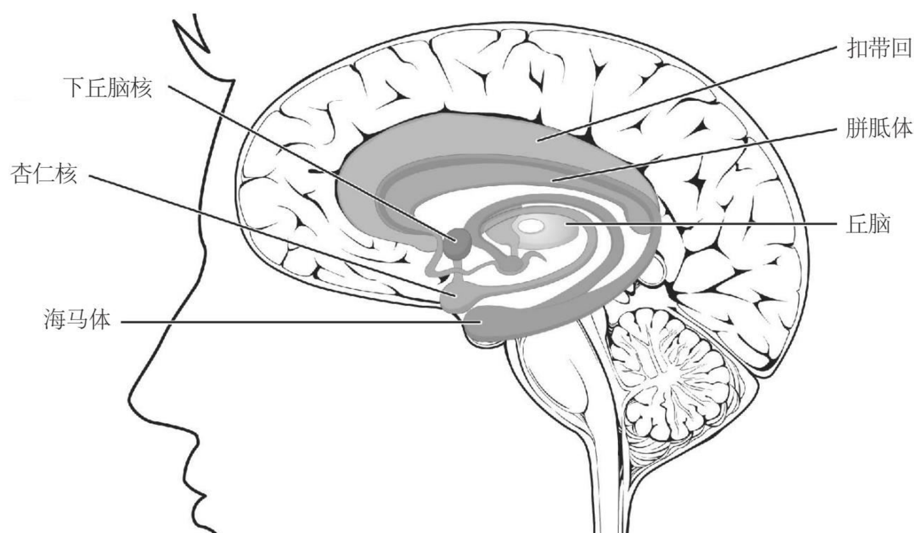
首先是大脑皮层——从《新科学怪人》（*Young Frankenstein*）中的人造大脑（Abby Normal）到《火星人玩转地球》（*Mars Attacks*）中的外星人大脑，都用大脑皮层来代表整个大脑。皮层就像一张纸，更像一块被揉成团的布，有一条很深的褶皱（内侧纵裂）把大脑的两个半球分开，但它们在下部被一个叫作胼胝体的厚厚的白色带状物连接在一起。在一个人的手掌上转动大脑，就像转动一个小地球仪一样，每个半球的脊（回）和槽（沟）都可以分为4个区域（被称为“叶”），每个区域都有不同的功能。广义地说，额叶（位于前额后面）处理推理和决策，以及计划并执行自主运动。顶叶位于头顶下方，主要处理躯体感觉和身体触觉信息。颞叶（在头的侧面），处理听觉和语言，在记忆和空间导航中也起到很大的作用。枕叶（在头的后部），负责视觉功能。

如果将大脑皮层平铺开，它将有2 000平方厘米大小，与一个汽车轮

胎铺开的面积差不多大。皮质有6层，叠加在一起的厚度约为2～4毫米，相当于一个iPhone的一半厚。

但是大脑远不仅仅是大脑皮层。它的4/5的神经元都在大脑皮层之外的其他位置，这些神经元也同样重要。在大脑皮层的下面，部分与皮层相分离（中间隔着的充满脑脊液的空间称为脑室）的是一系列的凸起、结点和网络，它们组成了边缘系统。这种系统有时被称为哺乳动物大脑，在记忆和情感的形成中起着关键的作用。从头部左侧或右侧的横切面图看，边缘系统看起来有点像卷曲的食指和拇指，在前端几乎接触，顶部的扣带回相当于“食指”，底部的海马体（这里形成记忆）相当于“拇指”。杏仁大小的杏仁核（与恐惧和攻击性有关）则栖息在两者快要接触的位置之间。

位于这个阵列核心区域的是丘脑（来自拉丁文中的“深室”一词）。它包括两个胡桃大小的凸起，负责从感觉器官传递信息到大脑皮层的叶中，并接收和整合从这些区域发送回来的信息。丘脑周围是基底神经节，参与控制自主运动。与此相邻的是中脑，它在人脑中是一个相对较小的区域，但起着重要作用：它包含的网状核（前文提到它与前庭神经系统有关）从眼睛和耳朵中接收信息，也参与一些基本的行为，比如睡觉、醒来和走路。它也包含产生多巴胺的神经元簇，多巴胺是大脑奖赏回路中使用的一种神经递质。



边缘系统

在边缘系统的下面是后脑，又称脑干，要是把它单独拿出来看，它长相奇

怪，看起来像一个“福克拉”（fórcola），这是一种形状罕见的威尼斯平底船的弯曲船桨。脑干位于脊髓顶部，由三个结构组成。最下面的部分称为延髓，控制无意识的功能，如呼吸和心率，并与我们的清醒状态有关。它的上面是脑桥，它在大脑的不同部分之间传递信号。第三个部分是小脑（来自拉丁文中的“小大脑”一词），它位于枕叶的后部，就像第二个大脑，某些部分已经发育，但是尚未成形。它有两个胖胖的“翅膀”，有点像超重的蝠鲼，宽度约为10厘米。小脑表面的褶皱像蓝鲸的喉咙，但横切面看起来更像一朵花椰菜。小脑有控制平衡、协调运动和学习新的运动技能的作用。尽管它只占大脑总体积的10%左右，但它包含的神经元数量几乎是大脑皮层的4倍（尽管神经元间的组织比大脑简单），比大脑其余部分的总和还要多。这下你就明白了为何计算机可以在国际象棋或围棋中击败人类冠军，却不能和一个五岁的孩子或一条狗一起玩耍。所有这些运动都需要大量的脑力。

3. 大脑与运动和地图绘制有关

要说大脑的主要目的是使我们能够四处走动，听起来可能过于简单化了，但神经科学家丹尼尔·沃尔珀特（Daniel Wolpert）却毫不犹豫地说：“理解运动就是理解整个大脑。”运动是我们与世界互动的唯一方式，无论是觅食还是喊服务员。事实上，我们所有的交流，包括手势、语言、手语和写作，都是通过运动系统实现的。“当你研究记忆、认知、感觉处理的时候，”沃尔珀特说，“会想知道这些功能存在的原因，而这个原因就是行动。”

除了一些例外，比如一些具有特殊防御能力的动物，以及那些像珊瑚一样只需等待食物自投罗网的动物以外，动物如果不动，可能很快就会死去。为了帮助它们导航，大脑包含或创建了身体和外部空间的地图。在这一语境中使用“地图”这个词几乎就是字面上的意思。20世纪20年代，神经外科医生怀尔德·彭菲尔德（Wilder Penfiel）发现，当他刺激躯体感觉皮层的某一部分时，病人的右手可能会有刺痛感。将电极沿着躯体感觉带向上移动一厘米，就会引起前臂或肘部的触感。类似的事情也发生在运动皮层。刺激皮层中的一部分会引起身体另一侧的肌肉抽搐或有微小动作，将电极移动到相邻的区域，会在相邻的身体部位产生同样的运动。彭菲尔德发现，尽管不同个体之间存在微小的差异，但这些地图的整体组织在每个人中都是相同的：身体以高度有序的方式呈现在大脑的表面，相邻的身体部位精确地映射到大脑的邻近区域。（即使失去了身体的一部分，这些区域也会保持活跃，这是产生幻肢综合征的原因之一。）

当大脑开始处理从眼睛接收到的信息时，也会产生类似地图的东西。光和暗的模式作用于视网膜上的细胞，并被保留在神经节细胞（视神经粗线中

的单股线）中，再被传送到枕叶的一个区域，这些细胞的精确布局被复制，使这个区域以电流活动的形式呈现出了眼睛后部形成的完整的光学图像。

但是，也许在大脑中最引人注目的地图是在对所谓的“位置细胞”和“网格细胞”的研究中发现的。前者于20世纪70年代首次在大鼠的海马体中被发现，当动物处于特定的位置并朝向特定的方位时，它就会被触发。当动物再次造访同一地点时，相同的位置细胞组合会发生反应，但当它访问另一个地点时，则会激发不同的组合。网格细胞是近些年来在一个叫作内嗅皮层的区域首次被发现，不同于方位细胞，它们并非根据动物是否在一个特定的位置而被激活，而是根据动物在一个网格上的位置，这个网格是由大脑投射到外部空间的。想象一下，在你面前的房间的地板上有一个由三角形镶嵌而成的网格。当你到达网格中的任何一个三角形的角落时，一个网格细胞就会被触发。把网格稍微移一下，每次你到达新的网格的三角形的角落时就会触发另一个网格细胞，以此类推。

位置细胞和网格细胞暗示了地图和记忆之间的一种深刻的演化联系，绘图能力是先产生的。神经科学家雨果·施皮尔斯（Hugo Spiers）指出：“所有需要获取食物的生物都会关心最重要的东西‘在哪里’获得。”他认为，当我们的祖先发展出更高的智力时，将这些“地方”储存起来的海马体会形成一种通用机制，将重要事件锚定在记忆中。

4.大脑一直在变

从肉眼来看，活着的大脑看似静止不动，但其内部实则异常活跃，几乎一直在变化。神经元、轴突、树突和突触不断地适应它们的电学和化学“经验”，作为学习的一部分，保持对不同的输入做出不同反应的能力，并保持大脑的稳定。所有这些组分的状态都会受到由脑干释放出的一阵阵化学物质的影响，这些化学物质决定了人是否清醒，还受身体激素的影响，这些激素有助于驱动行动。当我们学习的时候，神经元之间的突触联系的强度会改变，随着时间的推移而增强。随着时间的推移，新的通路被创造出来，而旧的通路则会消失。

尽管大脑没有出现物理上的移动，但是它的结构在一生中发生了实质性的变化。在大脑早期的发展中，突触连接的数量会有大量的增长，然后是快速的精细化。在出生后的第一个月里，连接的数量增加了20倍，大约从50万亿增加到1 000万亿个，而且至少在头三年里新的连接会持续产生。但是，随着孩子大脑的发育，会有一些很少使用的通路被删除，达到峰值的时候，每秒钟可能有多达10万个突触连接被消除。这是大脑学习并提高能力的关键过程，因为不相关的“闲聊”被删掉了。之后，当一个孩子的大脑

发育成熟，变为成人大脑时，一种叫作髓磷脂的白色脂质越来越多地覆盖神经元的轴突，隔离它们，并改善它们的功能。随着年龄的增长，这种物质会萎缩和衰退。

最近几年，大脑变化中最受大众关注的一方面就是大脑的可塑性，特别是其适应能力、从损伤中恢复的能力，以及减轻衰老影响的能力。一个很好的关于适应的例子是一名中国年轻女子的案例，她去医院说自己头昏眼花。经检查，医生发现她没有小脑，也就是说，她大脑的整个下半部都不见了。尽管如此，她已经近乎正常地生活了24年，只有中度的运动缺陷和轻微的语言障碍，比如发音含糊不清。还有一个关于创伤恢复的戏剧性事件发生在美国，一名患有癌症的年轻女孩在手术中被切除了整个大脑半球，从此过上了正常的生活。在这两种情况下，大脑的其他区域会介入并接管失去部分的基本功能。

但是，即使是将这些极端的情况排除在外，在正常的生活中，几乎每个人都能在大脑中建立新的能力，并适应其最终的衰退。日常散步等简单的事情可以促进神经产生，即成人的干细胞产生新的神经元。保持社会参与度也可以保护大脑功能。美国一项针对老年修女的研究发现，尽管有近三分之一的修女大脑中有阿尔茨海默病的体征，但几乎没有人出现相关症状。承担责任和学习新技能似乎是在保护我们的大脑，甚至在大脑的某些部分正在退化时，其他部分也在寻找补偿和保持正常运转的方法。

大脑的可塑性在它与技术的关系中也体现得很明显。在工具的帮助下，思维变得比它所依赖的大脑更为重要，而这反过来又塑造了大脑。“我们塑造我们的工具，”媒体理论家马歇尔·麦克卢汉（Marshall McLuhan）说，“它们随后又塑造了我们。”火是最早也是最重要的例子之一。烹饪帮助早期人类从食物中获取比祖先更多的营养，从而进化出更大的大脑。工具有无数种形式，盲人用的导盲棍就是一种工具。随着使用时间的增加，盲人的大脑和思维会重新组织，把触觉投射到棍子的末端，把它当作身体的一部分，这样，他就把触觉转化成了视觉。认知考古学家兰布罗斯·马卢福里斯（Lambros Malouforis）说：“改变思维的技术看起来好像带着未来主义的光环，但人类自出现以来就一直在使用它。”人类的思想像一个变化多端、总是无法完成的项目。即使现在有技术可以将大脑中的思想传送给机器或另一个大脑［据说现在Facebook（脸谱网）、埃隆·马斯克（Elon Musk）和其他人或公司在开发这个项目］，但其实这也不过是思维的又一个延伸而已。

“他会……扭曲并且变成/大地上行走的一切生物/将自己变成水和超凡的火……”——《奥德赛》中关于希腊神话中海神普罗透斯（Proteus）的描述

5.并不只有人类大脑才神奇

演化创造了各种各样的大脑。有些大脑与人脑的组织结构完全不同，却同样具有能力和智慧。但也有些大脑与人类的相近，如大象、海豚、鲸，它们的大脑价值被大大低估了。

首先，大脑并不是唯一能思考的物体；我们需要拓展一下“思考”的定义。许多生物都可以在没有大脑，甚至没有神经元的情况下记忆和处理周围世界的信息。单细胞的黏菌会通过互相配合来产生记忆、做出决定并预测变化。它们预测周围环境要进入干旱期，就会减缓行动，避免进入它们曾走过的黏性区域——这是一种外部空间记忆，能够提醒有机体探索新的空间。其他生物，如海蛞蝓（即海参），虽然它们简单的大脑中没有任何心理表征，它们却能理解人类数学家直到19世纪才发现的复杂的双曲几何形态。

在非动物——比如植物的生命中，也有类似需要特意去观察的事情发生。尽管植物并不拥有任何我们认为是神经系统的东西，它们却能制造出与神经递质一样的化学物质——比如血清素、多巴胺和谷氨酸，这些都是我们产生心境和情绪的基础。植物的信号系统与人类和其他动物的工作方式非常相似。它们能感知、记忆（可能使用朊病毒，这是一种与疯牛病相关的蛋白质）并且学习。我们可以通过嗅觉和味觉探测化学物质，植物也能感应空气、土壤和自身的化学物质并做出反应。植物的根有时候在接触障碍物或毒素之前就会改变方向。2016年，人们发现，植物可以通过将光从地面通到根部的尖端“看到”地下。树叶会改变自己的方向来追踪阳光。受到昆虫和食草动物攻击的植物会释放出表达痛苦的化学物质，以此通知邻近树叶和相邻的植物增强化学防御系统，同时告知昆虫杀手黄蜂靠近。至少有一种植物可以吃昆虫，即捕蝇草，它可以对一只正在挣扎的昆虫接触它的刺毛的次数进行计数，且至少可以记录60次触摸，并利用这些信息来加速消化。

> “毫不夸张地说，植物根部的尖端……的行为就像低等动物的大脑……从感觉器官中接收印象，并指导一些动作。”——查尔斯·达尔文（Charles Darwin）

植物的认知能力是相当可怕的，动物的大脑则更加厉害。蜜蜂的大脑只有大约100万个神经元，质量相当于一颗糖粒，但蜜蜂却能识别花朵的图案、气味和颜色，并记住它们的位置等一系列信息。众所周知，蜜蜂可以以摇摆舞的方式向蜂巢中的伙伴传达花蜜的方位、距离和丰富程度，但鲜为人知的是，如果其他蜜蜂在同一朵花上遇到了麻烦，比如捕食者，它们

就会打断舞蹈。蜜蜂的大脑与人类大脑的共同点比我们想象的要多。例如，它们包含了人类大脑驱使我们去寻找新奇事物并从中获得快感的“寻求刺激”的激素。类似尼古丁的杀虫剂可能会损害或杀死蜜蜂，但在这之前，它们的大脑中的奖赏中心会发生类似人类对尼古丁上瘾的作用。

章鱼的大脑更为惊人。章鱼和人类的最晚共同祖先可能是一种有着几百个或几千个神经元的蠕虫样生物，生活在5.5亿年前。从那时起，人类和章鱼沿着完全独立的两条路径开始进化，结果导致我们的大脑和章鱼大脑的组织方式完全不同。章鱼的大脑不在它像阴囊一样的“头”中（事实上那里是它的内脏），而是部分（1/3）包裹在食道或喉部中，2/3分布在它的8条腕足上。钢琴家伊戈尔·列维特（Igor Levit）演奏巴赫的组曲时，每一根手指都用看似完全自主的方式舞蹈，令人印象深刻，但一只章鱼能同时做8件不同的事情，每一条腕足都在独立思考，同时又受中央大脑的协调。

章鱼的大脑只有大约5亿个神经元，是人脑中神经元数目的1/20，但它们是快速而有能力的学习者。当你知道它们是在父母死后才孵化出来，不得不通过观察、尝试和犯错来为自己解决一切问题的时候，或许就更加惊讶了。章鱼解决新问题的能力甚至超过了小狗和幼童——例如，它们能够识别出门上的符号并找到门背后隐藏的食物，即使食物的位置已经被调换了。在野外，人们已经知道它们会爬上渔船，撬开船舱去偷螃蟹。在人工饲养的环境下，它们能够跑出那些被饲养员认为密不透风的水族箱，并在开阔的空地上搜寻附近的水族箱寻找食物。一些章鱼可以识别出特定的某个人：实验者让不同的人穿上完全一样的衣服，但是章鱼仍然可以区分它们喜欢的人和不喜欢的人之间的不同，并且对他们表现出不同的行为。显然，人类的伪装骗不过章鱼，毕竟这是一种能改变自身肤色和质地来与周围环境相匹配并和同类交流的生物。

鸟类也表现出显著的智力，尽管它们的大脑比我们的小得多。一些鹦鹉可以理解并正确使用100个或更多的人类单词，而最聪明的鸟类可能是乌鸦为代表的鸦科鸟类。它们能够进行多步骤的因果推理，具有灵活性、想象力和前瞻性，还能将这些能力应用于工具制造、记忆与推测和社会认知等复杂技能上。例如，在日本的城市里，乌鸦会将硬壳坚果放在人行横道上，它们知道汽车会碾过压碎坚果，但汽车也会有规律地停下，让行人通过，这时它们就可以安全地取回坚果食用。乌鸦可以感知到自己被监视，而且会拒绝与其他在过去欺骗过它们的鸟类合作。然而，与其他鸟类一样，乌鸦也没有新大脑皮层——这是人类和其他哺乳动物大脑中的一部分，长期以来被认为是高级思维功能必不可少的部分。鸟类与哺乳动物的演化在3亿年前就分道扬镳，鸟类的大脑演化出的是一种神经元紧密排列，形成被称为“核”的团簇结构，负责完成大量的工作。

很少有其他鸟类的智慧能与乌鸦匹敌，但许多其他物种的大脑却能做一些人类做不到的事情。哲学家兼作家查尔斯·福斯特（Charles Foster）指出，当雨燕捕食蜜蜂时，它们会选择无刺的雄蜂，雨燕可以在每小时55千米的飞行速度下凭借肉眼识别出这种雄蜂。考虑到这一点，以及其他以高速和长距离飞行条件下的其他生活方式，福斯特认为“它们解决问题的分辨率（也就是细节和重点）就是个奇迹”。相比之下，“我们，在我们最好的状态下，速度也像蜗牛一样”。

鸣管（syrinx）指鸟类喉管下部，即鸟类的发声器官。它的英文名字来源于一位女神，这位女神被她的姐姐变成一根芦苇以逃脱生育之神潘的追逐，而潘神折下芦苇做成了乐器。

鸣禽的大脑则在另一个方面打败了我们的大脑。椋鸟和夜莺可以唱或模仿60首不同的歌曲，远远超越我们所能达到甚至听到的仿真度和速度。鹪鹩在8秒钟内可以唱出100多个不同的音符。嘲鸫可以模仿数百只鸟的歌曲和其他的声音，并在1分钟内唱出20种。它们在鸣管中有一套精心设计的肌肉，共7对，在这些肌肉的引导下，两层膜可以独立振动，产生两个不同的、没有和声关系的音符。通过改变音量和频率，它们能创造出自然界中最为复杂的声音。所有这一切都是在它们小小大脑的专用区域进行管理的。

我们中的许多人都习惯性认为，人类的大脑与其他哺乳动物的基本结构相同，只是我们的大脑皮层异常发达，才让我们产生了优越的智力。例如，最近的一项研究发现，非洲稀树草原大象的大脑中有2 570亿个神经元，几乎是人类的3倍，其中有近98%分布在小脑上，只有56亿个在大脑皮层上。相比之下，人类的大脑皮层包含约160亿个神经元，它们分布得比大象的更为密集，这可能令它们得以更快地协同工作。基于类似的理由，海豚和鲸的大脑更大（例如，抹香鲸的大脑是人类大脑的6倍）通常被认为是为了提供控制一个更大的身体所需要的处理能力，而不是作为高级认知技能的象征。

但现实没有想象得这么简单。大象的海马体相对更大、更复杂，它是与记忆形成相关的大脑的一部分。鲸和海豚的大脑皮层只有5层，而我们有6层，而它们大脑中丰富的神经胶质细胞在认知中起到了重要的作用。然而，更重要的是，其他哺乳动物的大脑可以做一些人类不能做的事情，当然，也有些人类能做的事情它们不能做。大象的大脑能控制象鼻取到树上的桃子而不会受伤，也不会撞到墙上。它可以启动和处理信号，使大象能与它的伙伴们在10个八度的音高范围内进行交流（大多数人能发出的音高范围只有大约3个八度）。它可以管理自己并且几乎总是能避免与其他大

象发生危险的冲突。抹香鲸的大脑通过管理血液和氧气的泵送和分配，可令抹香鲸潜入超过一英里深的海水里，在长达两个小时的时间里不呼吸，这使其得以在完全黑暗的环境中猎杀巨型乌贼。鲸的大脑为创造、探测和分析声音提供了巨大的资源，无论声源在非常近的距离还是在数百英里外。它让这类动物能够在数千英里的开放海域中找到方向，并在长达几十年的时间里追踪自己的家人和朋友。

在虎鲸以及其他海豚物种的大脑中，处理情绪的边缘系统和旁边缘系统比人类的大脑发育得更发达，这可能可以解释它们极端强大的家庭纽带，以及它们那近乎奇迹的解读人类意图的能力。这些动物有时向人类展示的嬉戏、怜悯和宽容的能力可能只是它们大脑能力的一小部分。几十年来，人类一直困惑于如何与宽吻海豚沟通。在这段时间里，海豚不仅学会了通过各种象征性的手段来执行我们的指令，还学会了如何将它们的一些想法传达给我们。然而，我们仍然基本上听不懂它们内部的交流。直到2016年，研究人员才发表了文章，证明海豚会相互交谈，以解决诸如如何打开食物罐等难题。而关于大象，它们的智慧有许多显著特征，其中就包括一种明显的温和倾向（当它们没有受到来自人类的伤害时）——这是人类通常缺乏的智慧。

虎鲸可以瞬间杀死一只比一个成年男子还重的海豹，但在野外环境中，没有一次虎鲸攻击人类的记录。海豚已经被证明会停止自己的丰富活动，悄悄陪伴载有死去之人的船。还有的海豚会放弃猎食，在海中环绕支撑一位自杀的妇女。

因此，我们不应该低估非人类动物的大脑。正如行为生态学家彼得·蒂亚克（Peter Tyack）所说，试图用人类测量智力的线性尺度来测量不同物种的智力，这是没什么意义的。放射学家、诗人阿米特·马杰穆达尔（Amit Majmudar）观察到，其他动物的大脑使它们以某种方式能成为“通常意义上的超人”。“它们在知觉方面或身体上的能力上超越了我们，对此我们毫无对策。我们愚蠢地选择某种标准（比如使用工具）作为‘真正’的优势，但这只是我们的优势而已。”

反过来，使用工具则由两种能力来推动：我们的灵巧的手和灵活的语言。对于后者，人类的大脑在灵长类动物中是独一无二的，它的运动皮层的部分与自主运动和促进喉部运动控制的大脑区域之间有直接的联系，这是通过*FOXP2*基因中两个碱基对的改变来实现的，我们与猿猴，甚至老鼠都有这个基因。

只要我们仍然是人类，我们如何处理和表达感情，至少和我们如何操纵世界上的物体一样重要。在《超越语言：动物们的想法和感受》（*Beyond Words: What Animals Think and Feel*）一书中，卡尔·萨夫那（Carl Safna）记录了大象、狼和虎鲸的生活（以及人类试图拯救它们以防它们灭绝的举动），有力地证明了这些生物具有与人类类似的多种多样的情绪。“恐惧、攻击性、幸福、焦虑和快乐是共同的大脑结构和共同的化学反应产生的共同情感，起源自共同的祖先，它们是对共同世界的共同感受。”

6.脑科学在很短的时间内取得了长足的进步

古埃及人认为大脑对来世是无用的（小学生们听到这个消息可能会很高兴），他们会将那些刚死的人的脑子用钩子拉出来，然后把它们扔掉，然后把遗体做成木乃伊。从这一看似前景不光明的起点开始，脑科学研究已经取得了长足的进步。

公元前5世纪出生的希腊医生希波克拉底（Hippocrates）至少在文献记录中是西方第一个认为大脑是思想、情感和感觉之所在的人。与埃及的信仰相比，这是朝着正确的方向迈出的重要一步，但经过很长一段时间之后，这一点才被证明是正确的。亚里士多德在希波克拉底之后一代出生，他认为，大脑的目的是为了冷却血液。大约4个世纪后，盖伦忽视了大脑的固体组织，认为大脑内部的三个充满液体的脑室负责想象、推理和记忆的能力。在过去的1 500年里，基督教和穆斯林医生大多照搬了盖伦的想法。15世纪90年代初，列奥纳多·达·芬奇将这些脑室描绘成眼睛后面排成一排的三个气泡。这些素描根本不像是脑室的真实形状，虽然他以前画过颅骨的外观和内部，画面精细到骨骼上静脉和动脉的印痕在细节上都清晰可见，但没有证据表明他对大脑结构研究所投入的精力有后来投入心脏研究的那么多。

笛卡儿基本上遵从了17世纪早期沿袭自盖伦的大脑观点，认为大脑是通过将液体从心室通过神经泵送到其他器官和四肢来控制身体的运动的。这一景象就像法国南特岛机械城中的蒸汽朋克机械大象一样。然而，笛卡儿认识到，大脑的两个主要的精神功能远远超出了这样一台机器所能提供的功能，即能够产生无限多样的思想，并表达它们。他认为这种能力源自灵魂，灵魂是一种神秘的汁液，从超物质领域通过松果体来起作用。

自希波克拉底以来对大脑研究最重要的突破来自托马斯·威利斯（Thomas Willis）。他是笛卡儿后一代的内科医生，在牛津生活和工作。在威利斯的时代，人们对尸体大脑的解剖往往需要钻破顶部头骨，但这经常会损坏和扭曲其内部的大脑，就像重重地敲破一个没完全煮熟的鸡蛋会使得里面

的蛋液流出溅到你的衬衫上一样。威利斯和他的助手们采取了不同的策略，从头骨的下面取出整个大脑。因此，他们看到的大脑不是一个粘在头骨内部的小肿块，而是一个分为不同部分的、独立的器官。

通过更仔细的检查，威利斯发现，两条穿过颈部供血的颈动脉在进入大脑前会在大脑底部的一个圆圈内汇合。在一项与40年前威廉·哈维在狗的心脏上所做的实验同样残忍，但同样具有启示性的实验中，威利斯剪开了一只西班牙猎犬的脖子，并把一条大动脉绑了起来。“狗没有任何改变，”他写道，“仍然非常活跃和轻快，并且完全没有意识到医生对它的行为有多不近人情。在一刻钟之后，他松开了狗的大动脉，狗还跟着医生（威利斯）来到城里，去拜访他的病人。”威利斯发现了一种结构——大脑动脉环，也被称为威利斯环，它使得整个大脑在循环被部分破坏时还能获得血液。较小的动脉以分支的形式离开圆圈，在整个大脑中沿着“像蒸馏器中的蜿蜒通道”传播，携带着被认为是动物精神的“灵丹妙药”进入大脑。但是当威利斯把染料注入这些动脉时，他发现这些染料完全不会进入脑室。结论很清楚：脑室与心智没有任何关系，只是“大脑包裹住的一团复杂的东西”。盖伦和追随他的几十代人的认识都是错误的。

因此，威利斯不再关心脑室，而是重点关注动脉，他发现大脑的每一个主要部分都由不同的血管提供养分——这是大脑的不同部分负责不同工作的证据。他还发现了深埋在大脑中的带有条纹图案的灰色结构，这些条纹从脑干向上一直延伸到大脑的更高部分。他比较了人类和动物的脑，发现不管是鱼还是牛，它们脑的基本结构是相同的——包括延髓、小脑和大脑。威利斯发现相比于狗和牛，人类的大脑明显大很多，他由此推测，是这种优势给我们提供了优越的心理能力。但他也发现，人类和动物的小脑实际上是完全相同的，都是一种比较简单的结构，这表明它们的工作原理和简单的机器一样，创造了“精神”，这种“精神”进入了心脏和其他器官，并没有任何高等官能的监管。威利斯还沿着神经系统将视角从大脑转移到身体。他追踪到颅内的神经，发现它从头骨侧面的洞中滑过，然后到舌头，喉咙，嘴唇，牙齿和面颊。他沿着迷走神经，一直追踪到它缠绕着心脏和横膈膜的扇形细小分叉。他绘制的神经图看起来像汇集着小溪、河流和分水岭的地图。

> “在我们不了解或不关注的情况下，住在小脑中的精神默默无声地进行着大自然的杰作。”——托马斯·威利斯

威利斯已经向我们揭示了一个全新的世界，但不知何故从大脑传递到身体以及相反方向的“精神”仍然完全不为人所知——没有比笛卡儿的液压动力更令人满意的解释。如今看来，我们可以在一项古代疗法中看到它们真正

的本质。早在公元前1世纪，罗马皇帝克劳狄（Claudius）的一位医生使用了一种像鱼雷的“设备”——能产生200伏电击的电子射线——来缓解头痛。但是，没有人知道为什么这会起作用，只到了18世纪晚期，在威利斯去世的100多年后，科学家们才开始把电当作一种独特的自然现象。路易吉·加尔瓦尼（Luigi Galvani）和亚历山德罗·伏打（Alessandro Volta）分别通过实验表明，神经系统在电流的影响下运作，在外部电流的作用下，切断的青蛙腿会动。［还有一些人用电来让人的尸体抽搐，从桌子上坐起来，这让目击者之一的玛丽·雪莱（Mary Shelley）产生灵感，写了《弗兰肯斯坦》。］19世纪后半叶，埃米·杜波伊斯-雷蒙德（**Emil du Bois-Reymond**）证明神经和肌肉本身会产生电脉冲。在之后的几十年中，研究人员发现，他们可以测量出直接暴露在电极上的动物大脑中产生的微小电流。1924年，汉斯·贝格尔（Hans Berger）通过放置在颅骨外的传感器记录了人类大脑的第一张脑电图（EEG）。贝格尔记录的“脑电波”是由大脑各个部分的大量神经元的同步活动造成的，后来，科学家发现，这种波出现在一系列频率上，形成一个频谱。

> 1880年，埃米尔·杜波伊斯–雷蒙德概述了7个超出了当时科学能力的“世界之谜”。他说，其中有3个永远不会被解决：物质和力的终极本质、运动的起源以及简单感觉的起源。

但现代神经科学在几十年之前就由圣地亚哥·拉蒙–卡哈尔开创了。虽然他并不是第一个认为神经元对大脑功能具有重大作用的人，但他利用卡米洛·高尔基（Camillo Golgi，他们二人共同获得1906年的诺贝尔奖）的染色技术进行了前所未有的详细研究，并绘制了像达·芬奇的解剖图一样精细的图。拉蒙–卡哈尔发现，神经元的形状比其他任何类型的细胞都要复杂和多样。他还发现，昆虫中的单个神经元，其复杂度有时堪比甚至超过人类神经元，但人类的有些神经元之间可以越过（相对较远）的距离相连。这表明，精神能力并不依赖于细胞本身的特定功能，而是取决于它们之间的连接方式。这种“连接主义”的观点催生了神经元学说，并形成了一种思考大脑信息处理的方式，这种思维方式至今仍主导着该领域的研究。

> 神经元学说的主要观点如下：（1）神经元是神经系统的基本结构和功能单元；（2）神经元是与其他细胞不连续的离散细胞；（3）神经元由三部分组成：树突、轴突和胞体；（4）信息沿着神经元向一个方向流动，从树突通过细胞体到轴突。

当拉蒙–卡哈尔研究神经元的结构和组织时，其他人则研究了大脑中更大规模的组织，特别是大脑皮层的哪些区域与哪些功能相关的问题。保罗·布

罗卡（Paul Broca）和卡尔·韦尼克（Carl Wernicke）在19世纪中叶发现了与语言相关的大脑皮层区域，科尔比尼安·布罗德曼（Korbinian Brodmann）在他们工作的基础上，使用了一种叫作尼氏染色法的技术识别出43个独立的区域，如今这43个区域仍然是我们研究大脑功能区域的指南。

20世纪的诸多显著成就之一，是绘制出了大脑中每个神经元的完整的地图。1970年，悉尼·布伦纳（Sidney Brenner）领导的一个小组将一个大脑切割成数千个超薄切片，并在电子显微镜下进行拍摄。每张薄片都漂浮在一层水上，用一根牙签和一根人的睫毛固定在一端。那些薄得几乎看不见的薄片，是如此脆弱，一个不小心用睫毛就会碰坏。研究人员会轻轻地敲击周围的水，将它们推到合适的位置。研究人员进行了14年的研究之后，终于在世界上最古老、最受人尊敬的科学杂志《皇家学会哲学学报》（*Philosophical Transaction of the Royal Society*）上发表了一篇完整的脑结构图。但是有一个问题：他们研究的大脑并不是人类的，甚至不是老鼠的，而是来自一条不到一毫米长的蠕虫，即秀丽隐杆线虫，它们喜欢生活在土壤颗粒和腐烂的植物之间的水膜中，只有302个神经元（只有人脑神经元总数的不到0.000 000 4%）和9 000个突触（小于人类的0.000 000 01%）。若是以同样的速度工作，我们需要花费数百万年的时间和数十亿页纸才能创建一个人脑的线路图。

> 脑可视化技术包括磁共振成像（MRI）、功能性磁共振成像（fMRI）、弥散磁共振成像、脑磁图（MEG）、脑电图和正电子发射断层成像（PET）。

从20世纪八九十年代开始，新的无创成像技术促进了脑科学的革命。其中最具启发性的是功能性磁共振成像，即fMRI，它通过强大的磁体来检测接收各种刺激（包括图像、声音和想法）的实验者的大脑中血液流动的变化。激活区域可以在屏幕上显示为彩色的发光斑点。但fMRI有很大的局限性。这类机器有一段时间的延迟，当兴奋区域出现在屏幕上时，相隔1秒或以上的不同的神经元事件可能会重叠在一起变得模糊不清。当研究一个以毫秒为单位工作的器官时，这个误差就变得格外严重了。fMRI也不能揭示脑细胞实际上在做什么。该技术只能在几十万个神经元的尺度上记录活动，一个亮起的区域可能代表大量神经活动。考虑fMRI本身缺乏精确性，这已经是它能取得的最大成就了。

最近，研究人员绘制出一个“地图集”，它用一张看起来像色彩鲜艳的被子的图，展示了单词的含义是如何被安排在不同的大脑区域的。研究人员发现，没有一个大脑区域只容纳一个单词或概念，一个给定的位置可以与几

个相关的单词联系在一起，而每个单词也会点亮许多不同的大脑区域。它们一起组成代表我们使用的每个词的含义的网络。研究人员正在使用相同的数据来绘制地图集，以揭示大脑是如何保存如叙事结构这样的信息的。

在21世纪的头几十年里，人们做出了巨大的努力，在每一个可想象的维度上绘制出大脑的结构，希望以此解开更多的秘密。这种方法的灵感来源之一是早期的大型测绘项目的成功。2000年，在十年的国际合作之后，人类基因组计划公布了人体所有基因的初步粗略草图。当时的美国总统比尔·克林顿（Bill Clinton）称之为“人类创造的最奇妙的地图”，具有极大的增进人类福祉的潜力。这项成就激发了其他大规模的努力，如绘制人类蛋白质组（由基因组表达的全套蛋白质），研究人员开始呼吁为大脑设计一个类似的项目。毕竟，线虫的“大脑”早在20年前就已经被绘制出来了，从那以后，人们对大脑的理解和成像技术已经有了许多进步。为什么不把所有的神经连接（即“连接组”）绘制出来呢？比如首先从果蝇、斑马鱼和小鼠等比较简单的动物开始，最终到人类大脑本身呢？在神经元学说出现之后，科学家将人脑神经元与电子机器即计算机的线路图进行了类比，认为在原理上，大脑的功能和行为都是连接方式的结果。（许多研究人员认为，大脑中的错误连接是导致自闭症和精神分裂症等疾病的原因。他们希望，更好的“地图”能帮助研究人员了解和治疗这些疾病，以及阿尔茨海默病和帕金森病这类其他疾病。）

我们的细胞和组织中的蛋白质负责身体的修复、维护以及信号化学物质的生产。大脑中有大约300种独特的蛋白质，而睾丸中有近千种。

新技术产生了惊人的结果，其中一个就是大脑彩虹（Brainbow）。使用来自水母的4种荧光蛋白，科学家们创造了一个包含大约100种不同颜色的“调色板”，它们能以前所未有的精度标记出小鼠大脑中的单个神经元。2007年发表的图像具有一种奇异的发光感，可与保罗·克莱的画作相提并论，后者描绘了在紫色的星空下，一棵迷幻的树上纷纷落下许多颜色的叶子的景象。尽管大脑彩虹的实际应用可能被证明是有限的，但这些图像的美丽可能有助于激发人们提高对研究的认识和支持。

截至我写作本书的此时此刻，已经有十几个主要的公共和私人的脑地图、地图集和数据库项目，它们的预算总和可达数十亿美元。其中值得注意的是美国国立卫生研究院的大脑活动地图项目，该项目的目标是在从2013年开始的10年内绘制人类大脑的每一个神经元；还有一个是欧盟的人类大脑项目，这是一项为期十年的计划，相信在未来10到20年内可以用超级计算机模拟人脑，但这个计划在一开始就遇到了一些麻烦。普林斯顿大学神经科学研究所的承现峻召集了成千上万的“公众科学家”，加入在线游

戏“EyeWire”，共同绘制鼠视网膜上的神经元地图。在2013年发表的“大脑发育图谱”（BrainSpan）中，美国国家心理健康研究所资助的研究人员发现，在胎儿大脑发育过程中有95%的基因都是活跃的，这个比例显著高于成人大脑，并证实了脑区在自闭症进展中的重要意义。2014年，艾伦脑科学研究所的研究人员在长达十年的绘图研究后，发表了一个小鼠大脑的详细图谱，显示了295个大脑区域之间的中层连接。这是一部令人印象深刻的作品，但离完整的图像还很远，而且小鼠大脑只有7 100万个神经元，不到人脑的千分之一。然而，正如本章下一部分所要描述的，2017年的一个重要的发现证明，这种艰苦的工作已经开始产生显著的成果。

“一只小鼠的这一奇迹足以使亿万个不信宗教者愕然震惊。”——沃尔特·惠特曼（Walt Whitman）

一些研究人员希望，人类大脑的完整图谱能够记录和储存一个人的本质，并“重放”它，从而有效地实现永生。这一想法似乎有些牵强，但有安娜·博根霍尔姆（Anna Bågenholm）这样的案例。她在1999年的一次滑雪事故中掉进冰水里，被困在冰下。她的心脏停止跳动了两个多小时，她的体核温度下降到约13.7摄氏度。按照通常的定义，她已经死了。但是由于她的大脑在心脏骤停之前已经冷却了，需要的氧气比平时少得多，所以大脑在很大程度上没有受到损害。因此，在医生重新启动她的心脏之后，她逐渐恢复了健康。如果大脑能在这种几乎完全停滞的状态中存活下来，那么为什么我们不可能有一天使人重生，甚至在另一种媒介中复制它的基本架构呢？

有研究人员认为，至少在未来的一段时间内，大脑图谱的能力还是值得怀疑的，并援引人类基因组计划（HGP）作为例子。HGP已经够神奇了，但事实证明，这张地图仅仅是描述我们人类之所以为人的一小步。该项目确定了大约2万个基因，但我们现在知道，我们的DNA中至少有几十万个“开关”，它们以复杂的方式相互作用，在不同的阶段以不同的方式开启和关闭基因，这是发育和身体功能的基础。大脑的组织很有可能也同样复杂。著名神经科学家伊夫·马尔德（Eve Marder）曾说：“如果我们想了解大脑，连接组是绝对必要的，但也是完全不充分的。”

这类“开关”属于表观遗传学研究的领域。某国际财团正在尝试绘制表观基因组，没有人有把握说它何时能完成。

与此同时，新技术在几年前难以想象的地方点亮了光芒，研究者格罗·米森伯克（Gero Miesenböck）、卡尔·戴塞罗思（Karl Deisseroth）和其他神

经科学家在21世纪初提出的光遗传学就是一个完美的例子。光遗传学可以让研究者在活体动物的大脑中操控神经元，可以用激光来控制活跃与否，激活的时候就会发光。

光遗传学的起源和它的潜在应用一样引人注目。在1979年关于大脑科学的未来发展的报告中，弗朗西斯·克里克（Francis Crick）想知道能否开发出这样一种工具，可以在其他神经元不受影响的情况下打开或关闭一些神经元。他写道："……生物学家可以设计出一种对光敏感的特定细胞类型，这是可以想象的。"而且在当时，科学家已经发现了类似的候选工具了。20世纪70年代早期，生物化学家迪特尔·厄斯特黑尔特（Dieter Oesterhelt）发现了一种微生物视蛋白——这是一种在非洲咸水湖中生长的细菌中的光敏蛋白，这些细菌通过将光转化为能量来生存。起初，没有人会想到细菌的基因可以用来制造哺乳动物大脑中的这种蛋白质。然而，令人惊讶的是，米森伯克、戴塞罗思和他们的合作者最终做到了。

弗朗西斯·克里克是1953年发现DNA的科学家之一。从1979年到2002年去世，他一直试图增进人们对意识的神经基础的理解。

克里斯托夫·科赫称光遗传学是继19世纪晚期高尔基和拉蒙–卡哈尔的细胞种类染色图、20世纪50年代开始微电极的应用和20世纪90年代fMRI的出现之后神经科学的第四大突破。科赫说："光遗传学使以一种非常精细、审慎且具体的方式干预大脑的网络成为可能。"它能观察在感觉、学习、记忆、新陈代谢、饥饿、睡眠、奖励和动机的背后，大脑在基础部分层面的活动，而且可能应用于大脑治疗之中。在我写这本书时，目前的临床试验正在探索一种治疗视网膜色素变性的方法，这是一种遗传性的退行性眼部疾病，会导致严重的视力障碍。

CLARITY的全称为Clear Lipid-exchanged Anatomically Rigid Imaging/immunostaining-compatible Tissue hYdrogel（清晰的脂质交换解剖学刚性成像/免疫染色相容的组织水凝胶）。

另一项由戴塞罗思开发的新技术被称为**CLARITY**。这一方法运用一种透明的水凝胶取代脑细胞之间不透明的脂质，且不会扰乱神经元的排列。死后的大脑仍然完整，但令人惊奇的是，它是透明的。在《自然》杂志2013年发表的一篇文章中所展示的视频中，在一个清晰的小鼠大脑中显示出了令人难以置信的精细的细胞和神经纤维网络，在一个黑色背景下以亮绿色显示，可以看到前所未有的细节，根据不同的类型和功能也可以显示出不同的颜色。这个图像拥有非凡的细节和美感。

前方仍有许多问题尚待解决。其中一个问题涉及一种被称为神经调质的化学物质的作用。即使在控制蟹和龙虾的胃的相对简单的系统（由30个左右的神经元组成）中，神经调质也能从根本上改变回路的功能。而对于甲壳动物的胃中成立的事实很可能对于大脑也成立，因为在大脑中，神经调质会影响更大的系统。另一个例子是转座子——在基因组中隐藏的DNA的“漫游”片段，能够随机复制和粘贴自己。研究者发现，在干细胞发育成成年脑细胞的过程中，这类转座子处于活跃状态。可能是它们在脑细胞中产生了基因无法单独产生的新奇而复杂的功能，尽管我们的基因总数的50%都被用来塑造这个只占了我们体重2%的部位。如果这是真的，那么我们的大脑都在经历一种小型的进化，而且每个人都不相同。

大脑确实隐藏了许多未知的惊奇。一些研究人员认为，目前流行的大脑模型把大脑看作一种类似于计算机的信息处理器，但这从根本上说是错误的：这一比喻的误导程度不亚于前几个世纪的人认为大脑是液压机或发条装置。他们强调，尽管我们绘制出了线虫的脑的全面地图，但我们仍然不了解关于它如何运作的很多基本事实。埃里克·坎德尔（Eric Kandel）因为对海螺学习新事物后体内发生的化学变化的研究获得了诺贝尔奖，但是这距离我们发现人类的记忆是如何运作的，可能还有几十年的时间。肯尼思·米勒（Kenneth Miller）则认为，要想找出基本的神经元连接，可能要花更长的时间。

散文家瓦尔特·本雅明（Walter Benjamin）将“灵韵”描绘成“一种认知的形式，它可以赋予现象反过来观察我们的能力”。

7.意识是惊人的，但并不全然神秘

意识已经获得了某种灵韵（Aura）。我们都被我们的世界经验和我们可以体验世界的事实所吸引。“如果（我的）头脑试图用几句话来概括所有最令人惊异的事情，”医生和哲学家雷蒙德·塔利斯（Raymond Tallis）说，“那这句话是：它有一个世界。”因为在意识中，发生着一个非凡的创造（或再创造）过程。所有的感官刺激都以或多或少未分化的形式进入大脑，以特定路径激活的神经元链所产生的电脉冲为形式；但我们感觉自己看到水面反射的阳光，听到遥远的钟声，感受到微风的触摸，或是木头冒烟的味道，这些体验都是真真切切的。安妮·迪拉德写道：“谁能厌倦这种光辉灿烂的转变呢？浮出水面获得意识，又有意地沉入遗忘之河，正如剧院的帷幕在升起和落下。所有那些在边缘的时刻——我们如此害怕失去的意识生活——是我们拥有的一切，在此刻打开的礼物，谁又会对此感到厌倦呢？”

把令人讨厌的记忆带到脑海里也是很不容易的。但在托尔斯泰的《战争与和平》中，皮埃尔被俘后，饥寒交迫、衣衫褴褛，他只有这些最简单的感觉——饿的时候吃，渴的时候喝，困的时候睡，就会给他带来十足的愉悦。

这种情况如何发生的谜题通常被称为意识的“困难问题”——有一些特别有想象力的学者称它为意识的“真正困难的问题”。这个短语是在1995年由哲学家戴维·查默斯（David Chalmers）提出的，他问生理过程为何能让我们产生丰富的内心生活。这个问题的核心可以追溯到至少300年前。笛卡儿得出结论，他的意识经验是他唯一可以绝对肯定的一件事：“我思故我在。”然而，他认识到，这种在他看来似乎超越了物质和时间的经验，必须以某种方式连接到一个完全物质的世界。1714年，数学家兼哲学家戈特弗里德·莱布尼茨（Gottfried Leibniz）将意识同当时的高科技机器——磨坊进行了类比，抓住了这个谜题的精髓。“我们可以想象一台自身结构能使它产生思考、感觉和意识的机器，”他写道，“我们可以想象将它放大，放大到一个磨坊的大小，让我们得以进去。假如我们参观它的内部，我们只会看到各个部分在相互推挤——不会看到任何能解释意识状态的东西。”

记者安布罗斯·比耶尔斯（Ambrose Bierce，1842—约1912）对此持怀疑态度，并将笛卡儿的那句名言调整为“我认为我思，故我认为我在”。

几代人对这一问题绞尽脑汁，都未有结果。1989年，心理学家斯图尔特·萨瑟兰（Stuart Sutherland）在《国际心理学词典》中写道：“不可能具体说明（意识）是什么，它是做什么的，或者为何会产生。关于意识，没有什么值得一读的文献材料。”哲学家埃文·汤普森（Evan Thompson）则更有耐心一些。他在2014年写道，意识无法像其他许多事情那样被分析，因为我们没有办法跳出这个框架，也无法用其他东西来衡量它。它无法用任何非经验的术语解释，“也许，因此，我们能做的最好的事情就是依靠类比或隐喻”。例如，根据印度的瑜伽传统用语来说，意识是发光的：它像一盏灯，有启示的力量。

“在这种情况下，内省分析的尝试……就像抓住一个旋转的陀螺顶端来捕捉它的运动，或者试图快速地打开（灯），以观察黑暗的样子。”——威廉·詹姆斯（William James）

但是，在过去25年的研究中，许多研究大脑的人认为，我们除了依靠类比和隐喻之外，还有更多可做的事情。我们可以更好地了解我们知道什么，不知道什么，还可以了解别的。神经科学家阿尼尔·赛思（Anil Seth）提出，这可以被称为“意识的真正问题”。

研究表明，对身体的生理状况的内部感知，在很大程度上取决于一个被称为前岛的区域；而认知自我，形成自我在世界上的定位，则主要依靠内侧前额皮层。

用脑成像技术可以观察到当我们有意识的时候哪些神经元是最活跃的——看看莱布尼茨的“磨坊”中的哪些部门在运作，这至少是弗朗西斯·克里克所说的“意识的神经关联”的一部分。在大多数情况下，相关的神经元多是位于大脑皮层的某些区域，那里的连接数量非常大，大大超过了其他大脑区域的连接入口和出口数。这表明，这些神经元彼此之间的交流比与感觉器官和运动器官之间的交流更多（尽管它们的确与情感和记忆中心有着密切的联系）。其中一个模型借鉴了在20世纪90年代开创这一领域的弗朗西斯·克里克和克里斯托夫·科赫的研究成果，认为意识是众多神经元通过上万亿的突触发生同步，同时这种集体振荡又受到网状结构、丘脑、海马和边缘系统的影响而形成。然而，在2017年初，克里斯托夫·科赫及其在艾伦研究所的同事发表的新地图显示，长距离的连接也可能在形成意识的过程中发挥重要作用，也许是通过促进某些状态在整个大脑中的共享。研究人员在一只小鼠身上发现了三种神经元，它们的分支遍布整个大脑，其中一种神经元包裹着整个大脑两个半球的外层，就像一个荆棘编织的冠冕一样。这些神经元来源于一块称为屏状核的小而薄的细胞薄片——科赫认为这是小鼠和人类的意识所处的区域。

神经科学家亨里克·约恩特尔（Henrik Jörntell）认为，我们需要考虑（几乎）所有的大脑功能（不仅仅是意识）都分布在整个大脑各处，以及大脑的所有部分都对这些功能做出贡献的可能性。“神经科学需要开始研究，在大脑终其一生试图理解世界的过程中，网络配置是如何产生的。我们还需要清楚地了解大脑皮层、脑干和小脑是如何与肌肉以及我们身体的数万个光学和机械传感器相互作用，从而创造出一个完整的画面的。”

1989年，数学家罗杰·彭罗斯猜想，如果经典物理学永远无法完全解释大脑如何产生思维和意识经验的，那么量子过程一定以某种方式参与其中。彭罗斯的猜想吸引了很多人的注意，但他的批评者反驳说，除了在极低的温度下，否则叠加和纠缠这样的关键量子效应都是极其脆弱的现象。神经

哲学家帕特里夏·丘奇兰（Patricia Churchland）总结了主流观点："微管中的量子相干的解释力，就如突触上的小精灵仙尘一样'强大'。"

尽管如此，大脑中可能存在量子效应的想法并没有被严肃的科学家完全否定，而且自从2000年以来关于其他生物系统利用量子效应的研究，使得这一说法看似更加合理了。例如，植物利用光子的量子特性（即它们在空间根据概率分布）使光合作用更为有效。在2015年发表的一篇论文中，物理学家马修·费希尔（Matthew Fisher）认为，即使大脑中神经元之间的电脉冲（用经典物理学就可以很好地描述）是思想和记忆的直接基础，一个隐藏的量子层仍可能部分地决定这些神经元是如何相互关联并被激发的。

其他一些关于更好地理解意识的建议来自信息科学。2008年朱利奥·托诺尼（Giulio Tononi）提出的集成信息理论就是其中之一。托诺尼认为，你意识到的任何信息都完全地存在于你的头脑中，并且具有意识意味着你需要成为一个单一的、包含大量高度分化状态的综合实体。他认为，意识可以用数学术语来表达。在他看来，在一个特定的大脑中，意识的数量和质量在原则上都是可以计算的，尽管现在计算起来可能有些棘手。

对于业余人士来说，这一切迅速变得深奥难懂，甚至完全无法理解。但是那些不试图解决整个问题的方法可能是有帮助的。例如，迈克尔·格拉齐亚诺建议我们把意识看作是大脑中注意力的表现。他说，注意力——即某些信号以牺牲其他信号的利益为代价受到增强的现象——是一种被广泛理解的机械现象，可以在动物大脑中被测量，甚至可以被编入计算机芯片。如果与意识紧密联系的觉知（awareness）仅仅是注意力的另一种表现形式，会怎么样呢？格拉齐亚诺认为，意识可能是类似于示意性城市地图的动画重建：物理上不准确，但还是有用的，因为它可以用来做预测，尝试模拟，并计划行动。

"尽管非逻辑、直觉性的潜意识在（艺术家的）创作中起着重要作用，但艺术家也有一种意识……它能解决冲突，组织记忆，防止艺术家同时在两个方向上行走。"——亨利·穆尔（Henry Moore）

根据类似的观点，认知神经科学家斯坦尼斯拉斯·德阿纳试图根据意识所做的事情来描述意识。德阿纳认为，意识是非常开放的，但又有很强的选择性，它选择、放大并传播可能有助于个体生存和发展的思想。他观察到，正是因为有意识，我们才能把重要的数据保存在脑海中很长一段时间，并把它传递给任何其他的心理过程。这给了我们极大的灵活性以及随之而来的所有优势。

但是，德阿纳补充说，要理解意识，你也必须看看内部结构。意识在更大的前意识和无意识“海洋”中航行，这一“海洋”执行大量的整合任务，从监察和控制基本的身体功能到处理复杂的外部信息，这些任务对我们的持续存在至关重要。到达意识头脑的信息是非常复杂的筛选之后的结果，我们把信息从无数无意识和有意识的心理过程中挑选出来，这就是注意力。大脑无情地丢弃不相关的信息，并根据它的显著性和它与我们当前目标的相关性，分离出一个单一的有意识的对象或集合。关于这一点，有一个经典的例子，被称为“鸡尾酒会效应”，指的是在一个嘈杂的房间里我们能突然听到有人喊我们的名字，尽管之前并没有留意说话者说的其他话。多感官信息和意义在大脑中无意识地结合在一起（例如，我们没有有意地思考过一个符号是如何产生意义的），我们大大低估了视觉、语言和注意力在我们意识之外的部分。德阿纳说：“我们经常高估自己的意识，即使我们意识到我们意识中存在明显的缺口。”

“理性思考不一定是我们最大的财富，尽管我们珍视它，但它（有可能）是一种障碍。我们必须认识到，除了有意识的理性思维之外，我们的头脑还能进行其他更强大的思维过程，通过直觉引导我们把握微小的现实碎片。”——詹姆斯·洛夫洛克（James Lovelock）

闪耀的微小片段

一些人不相信意识只是大脑的一个突现的属性。他们认为，自然不会跳跃式发展，所以意识也不可能是在某一个时间点突然出现的。至少有一位著名的研究者——克里斯托夫·科赫持有这个观点的一种版本，他认为意识可能是物质的基本属性。

这个想法，有时被称为泛灵论（panpsychism），存在一定的吸引力。在巴鲁赫·斯宾诺莎（Baruch Spinoza）眼中，上帝与自然并不是分离的，它们似乎把一切都统一了。根据哲学家盖伦·斯特劳森（Galen Strawson）的观点，意识到我们对物质本质的深刻无知，就提醒着我们不要把这样的想法置之不理。斯特劳森引用W. H. 奥登（W. H. Auden）的话来说，“物质”，像爱一样，“比我们想象的含义更深远，也更古怪”。正如哲学家菲利普·戈夫（Philip Goff）所说的，“关于物质的本质，我们唯一知道的是它当中的一部分——大脑中的某些东西——涉及经验”。

“物理学是数学性的，不是因为我们对物理世界了解很多，而是因为我们了解得很少：我们发现的只是它的数学性质。对于其他部分而言，我们的知识极度缺乏。”——伯特兰·罗素（Bertrand Russell）

当然，物质的最终本质（以及整个宇宙）是我们目前无法理解的。物理学家告诉我们，在迄今为止他们所能提供的最深层的解释中，世界是不可思议的：量子力学的波函数不允许我们同时测量一个基本粒子的位置和速度，只有概率是可测的。电荷、能量和自旋也是一样。不仅如此，基本粒子还会凭空产生或消失，并且能相互纠缠，以超越光速的速度相互影响。

“我将写一本关于花叶的书……我将在这温柔的鲁特琴声中为你歌唱，向你展示世界的生机，每一颗沙粒都能发出它的快乐。”——威廉·布莱克

在生命的最后阶段，理查德·费曼对这样一个问题产生了兴趣，即电子在原子核周围形成云的现象是否会在某种意义上“思考”的问题。也许这个问题至少可以追溯到古希腊哲学家巴门尼德，他说，“思考”和“存在”完全是一回事。也许，正如维斯拉瓦·辛波斯卡（Wisława Szymborska）在她的诗歌《与石头的对话》中所写的那样，即使是小石块都会发出笑声。

物理学家认为，希格斯场是一种宇宙中无所不在的能量场。当粒子从希格斯场中穿过时，它们就被“赋予”了质量（就像通过糖浆的物体一样），粒子的速度会变慢，不再能以光速运动，因为它们有质量。

但是，也许泛灵论者把不一样的东西混为一谈了。物质是奇妙的和奇怪的并不一定意味着它像我们自己或其他一些动物一样是“有意识”的。而一些真正的新事物可能出现在物质和能量的某种组合中，包括（但不一定仅限于）大脑。也许意识产生于自然界中的一个转折点——类似于水沸腾变成气体时，或者带电粒子的运动产生电磁波，在这样的时候出现了一些不同的甚至完全崭新的东西。是否存在一种“意识场”，被物质的临界状态所激活，就像希格斯场给物质带来质量一样？“这听起来像是一个疯狂的想法，”数学家马库斯·杜索托伊（Marcus du Sautoy）说，“但也许为了理解这样一个模糊的概念（即意识），我们需要疯狂的想法。”

不管更大的真相是什么，人类有时会把世界看成是有意识的，或者至少是意识的一部分。在禅宗佛教的传统中，13世纪的道元禅师认为，篱笆、墙、瓦和卵石都是“心”。700年后，哲学家莫里斯·梅洛–蓬蒂（Maurice Merleau-Ponty）记录了画家安德烈·马尔尚（André Marchand）的话，他说：“在森林里，我曾多次感受到看着森林的人不是我自己。有几天，我感觉那些树在看着我，在跟我说话……我在那里仔细倾听。”或者，正如自然作家巴里·洛佩斯（Barry Lopez）在几十年如一日身处并观察北极景观之后所说：“一个人必须等待这样的时刻——山、塔、半月……不再仅

仅是事物，而是成为知道我们存在的东西。”

你不必做太深的研究就能接受意识并不仅仅存在于大脑中的观点。心理学家里卡尔多·曼佐蒂（Riccardo Manzotti）说：“我们会有一种这样的印象……意识存在于我们的头脑中。然而，我们在大脑中发现的任何东西都不能证明这一点。”他举了个苹果的例子。他问：“如果经验是苹果本身呢？毕竟，苹果绝对是最像苹果的东西，也是唯一具有关于苹果的经验的特性的东西。它是圆的、红色的、有光泽的。那么，为什么意识这个东西不能和苹果一样，在苹果所在的地方呢？”曼佐蒂提出，意识不是关于苹果的，它就是苹果，或者至少是人和苹果之间的关系。

> “思想就像彩虹一样。彩虹在我们的身体之外，但它是我们的一部分。”——里卡尔多·曼佐蒂

虽然我们的看法可能有分歧，但或许我们可以就集中注意力的重要性达成共识。正如爱因斯坦所说，我们与我们所说的宇宙的分离感只是一种意识的错觉。如果他说得对，这只会是一件好事，因为在你我所面临的所有挑战中，最重要的一项当然是发展出配得上天地万物的复杂性和美丽的意识。

> “鹪鹩穿越，甚至是搅乱了，那些我们已经习惯在不同类型的国家之间划分出的界限。”——马克斯·尼科尔森（Max Nicholson）

在温暖的月份里，我写作的小屋的门通常是开着的。门外，在我的小花园里，我邻居家的树或者是更远的树上，鸟儿鸣唱着，把一切风景染上绚丽的色彩。有时，在我的思绪飘远时，一只鹪鹩从敞开的门前飞速掠过，快到我的意识都来不及把它记录下来。直到后来，在我脑中回溯那一刻的时候，这只小鸟的飞行轨迹才显露出来。

---

1. 约为人民币中1角面值硬币的大小。
2. 这两片树林都是英国的自然保护区，以古老的栎树（橡树）为主。

第5章

在祈祷的边缘——自我

……世世代代的人就像树叶一样——老的树叶，被风吹落在地上，在春天来临时，年轻的叶子就会在绿树上生长出来。

荷马

所有的人都从生活中得到了一切，但是大多数人自己却不知道。

豪尔赫·路易斯·博尔赫斯

一个人是多么美丽啊！

卡埃塔诺·维洛佐（Caetano Veloso）

1514年，就在丢勒创作《忧郁I》的同一年，提香（Titian）创作了画作《人生的三个阶段》。这是一幅生动且令人愉悦的杰作。在绿蓝色调为主的田园风光中，几乎一丝不挂的人物焕发出勃勃生机。这幅画的寓意是简单且直白的：人类出生、生长和成熟，然后老去和死亡。当然，任何特定生命的细节都比这复杂得多。从细胞层面到我们最复杂的思想和情感，在任何特定的时刻，我们身体的不同部分都在出生、繁荣或死亡。但是，生活包含三个阶段的观点——是古老的，以各种形式出现的，其中包括斯芬克斯之谜——蕴含着某种基本的真理。生命的弧线就像一天的轨迹一样，我们每个人都会经历早晨、下午和晚上。在本章中，我们将沿着这条弧线，探索生命的奇迹，以及它在人的一生中的变化。

斯芬克斯出了一个谜语，所有不能答对这个谜语的旅行者都会被它吃掉：“早上四条腿走路，中午两条腿，晚上三条腿的生物是什么？”俄狄浦斯答道：“人。”言毕，斯芬克斯便死了，而对于俄狄浦斯来说，故事才刚刚开始。

1.早晨——孩童期

认识一个靠研究婴儿笑声为生的人总是有趣的。而当我遇到伦敦大学的心

理学家卡斯珀·阿迪曼（Caspar Addyman）时，我发现他简直就是魅力的代名词。阿迪曼的头发是绿松色的，他喜欢引用音乐家维克托·博尔格（Victor Borge）的话：“两个人之间的最短距离是笑声。”他欣然承认，自己的研究结果中有些看起来似乎是常识。比如说，婴儿在学会说话之前就会笑了。但他认为，鲜为人知的是，婴儿的笑声在某种意义上是与哭泣相反的：笑声代表“再来！再来！”，这对婴儿和看护者的幸福感来说都很重要，甚至可以说是至关重要的。阿迪曼说，他和其他心理学家所做的研究，正带来一些真正的惊喜，也会帮助我们对以前只认为是直觉的事情获得更深层次的理解。

比如说，直到最近，研究人员才开始认识到，从婴儿期开始，人类就会自己给自己找乐子。超声波扫描显示，胎儿在子宫里会“练习”微笑和大笑（以及哭泣）。阿迪曼及其同事进行的一项全球范围内的研究表明，几乎所有的婴儿在出生后的前三个月就会微笑了。在他们长到2～4个月大的时候，大多数健康的婴儿已经掌握了社交微笑的技巧，他们积极地与父母互动并给出回应。婴儿一般在3个月大的时候会开始大笑。阿迪曼的研究表明，躲猫猫是最流行的让婴儿发笑的方式，在全世界都一样。他说，这一游戏在生命的最初几年里一直有效，但随着年龄的增长，游戏会变得越来越复杂。在最初的6个月里，婴儿对你的再次出现感到非常惊讶。然后他们学会预测你的出现，并对自己的预言成真感到高兴。当他们蹒跚学步的时候，他们意识到自己可以让父母和其他照顾者发笑，这一进步与真正意义上的自我意识的出现相一致。他们经常会逗你，但这个年龄的孩子也学会了大发脾气。尽管有这些变化，但游戏的基本性质仍然是相同的：这一切都与目光接触有关，阿迪曼说，这是一种纯粹的社交活动，只留下了最基本的要素。

8个月大的婴儿可以使用一种特殊类型的幽默形式：戏弄。例如，一个婴儿可能会心甘情愿地交出允许她玩的车钥匙，但当她的父亲准备接过钥匙的时候，她会迅速把手抽回来，她做这一切的时候，会带着一种调皮的笑容看向父亲。

西格蒙德·弗洛伊德断言，大多数婴儿的笑只是一种“幸灾乐祸”（Schadenfreude）的形式，即为他人的不幸而感到快乐。但阿迪曼坚持认为，所有的研究都表明，弗洛伊德是错误的，他认为：所有的小孩，甚至是婴儿都有同情心和道德感。比如说，婴儿会为其他人的痛苦感到同情，他们以哭声回应其他婴儿的哭声，或者给看起来不高兴的人提供玩具。

心理学家的研究已经表明，婴儿更喜欢友善的人，和经常笑的父母和看护

者在一起会有更强的学习能力。阿迪曼说反过来也是正确的：快乐的婴儿会鼓励成年人教他们感兴趣的东西。然而，无论哪种方式都说明，真正重要的是，笑声似乎会鼓励互动和合作。不管是婴儿还是成年人，在互相陪伴的时候都比独处的时候笑得更多，笑话会令人愉快，不过这不是它最重要的目的，它的真正目的是建立更紧密的联系，帮助我们学习。除了所有潜在的科学和社会价值外，阿迪曼的研究中还有很多乐趣，“我们将心脏监视器连接到婴儿身上，看看当我们胳肢他们时会发生什么。”看起来，挠痒痒可能也同拥抱一样，是对健康的发展至关重要的几种接触形式之一。

自从我们认识以来，阿迪曼和其他心理学家一直在与作曲家伊莫金·希普（Imogen Heap）一起创作音乐，为的是尽可能地取悦婴儿。他们在一组婴儿身上测试了不同的曲调和声音样本，并要求数千名家长对让他们的婴儿快乐的滑稽声音进行投票。前十名包括“boo”（66%），嘘嘘声（57%）、打喷嚏声（51%）、动物声音（23%）和婴儿笑声（28%）。破裂的“砰”声也特别能让婴儿开心。由此创作的“快乐之歌”是一首大调歌曲，每分钟163拍，有一段简单而重复的主旋律，有鼓声、转调和音高上扬的滑音，为预期和惊喜提供了机会，还有一个熟悉的重复的副歌。

任何寻求人类希望的人都可以从婴儿身上找到一些安慰。与此同时，任何花时间照顾婴儿的人都会发现当婴儿并不是一件轻松的事情，更别提照料婴儿了。心理学家艾利森·戈普尼克（Alison Gopnik）说，要真正了解婴儿是如何体验世界的，就要抽四包烟，喝四杯双倍浓缩咖啡，或者去巴黎谈一场恋爱。这（很明显）是一个美妙的状态，但它也意味着你会在凌晨3点醒来，并且大哭。重点是，婴儿们有大量的注意力，但成年人只有在某些药物、奇异的旅行或浪漫爱情的作用下才能获得这种天真的、不加选择的注意力。戈普尼克用了另一个比喻：成为一个婴儿，就像沉浸在一部引人入胜的电影中；你不在掌控之中，你的意识不在计划行动，你的自我似乎消失了，然而电影中发生的事情在你的意识中又是格外生动的。

婴儿的心理世界，有时也会和迷幻之旅有很多相似之处。伦敦帝国理工学院的罗宾·卡哈特–哈里斯（Robin Carhart-Harris）领导的一个研究小组，研究了裸盖菇素（致幻蘑菇中的活性成分）对成年人的意识状态的影响，表明它会使大脑中的“中枢”失去作用（特别是后扣带回皮层和内侧前额皮层），从而减少了大脑区域之间的长程连接。卡哈特–哈里斯说，这些中枢就像管弦乐队的指挥，引入裸盖菇素后，就好像乐队没有了指挥。研究的参与者经常说，他们感觉自己好像正在与周围融为一体。这就好像大脑和意识回到了人发育的早期阶段。认知受到的约束更少，分析性也减弱，更多地被想象和愿望，也包括恐惧所影响。裸盖菇素令患者变得更像孩子。他们的情感变得不稳定，往往会不由自主地咯咯地笑。



父母等人可能已经注意到，在母乳喂养后，婴儿的面部表情看起来很像成年人进入迷幻状态的表情。

越来越好奇

小婴儿可能会感到困惑、启示和喜悦，但他们会有惊奇的感觉吗？安妮·迪拉德持反对意见："他们会困惑，但很少会对事情感到惊讶。毕竟，对（他们）来说，（一切）都是新鲜的，而且都是没来由的。"然而，随着时间的推移，婴儿确实会逐渐意识到经验中存在规律，并开始形成一种意识，即存在一个世界，这个世界也有与自己不同的人。有了家人和伙伴的爱和支持，他们在成长过程中一定会对外面的世界越来越好奇。

好奇心当然不是人类所特有的。许多动物都有好奇心，尤其是当环境条件较好，它们不会被眼前的生存困难所困扰的时候。即使是秀丽隐杆线虫——第4章中提到的只有302个神经元的小小线虫，在被放置在拥有充足的自己喜欢的事物以及大量潜在伙伴的地方，它们还会往别的地方进行探索。有些蠕虫是无法得到满足的。而像新喀里多尼亚乌鸦这样高度聪明的动物更是格外具有好奇心。通过不断的试错和观察，小乌鸦能够学会如何将树枝做成带钩的钩子，以便从洞中取出蛆虫吃。它们的好奇心令它们得以深入了解物体是如何运作和互动的，并学习如何利用这些知识来实现它们的目标。

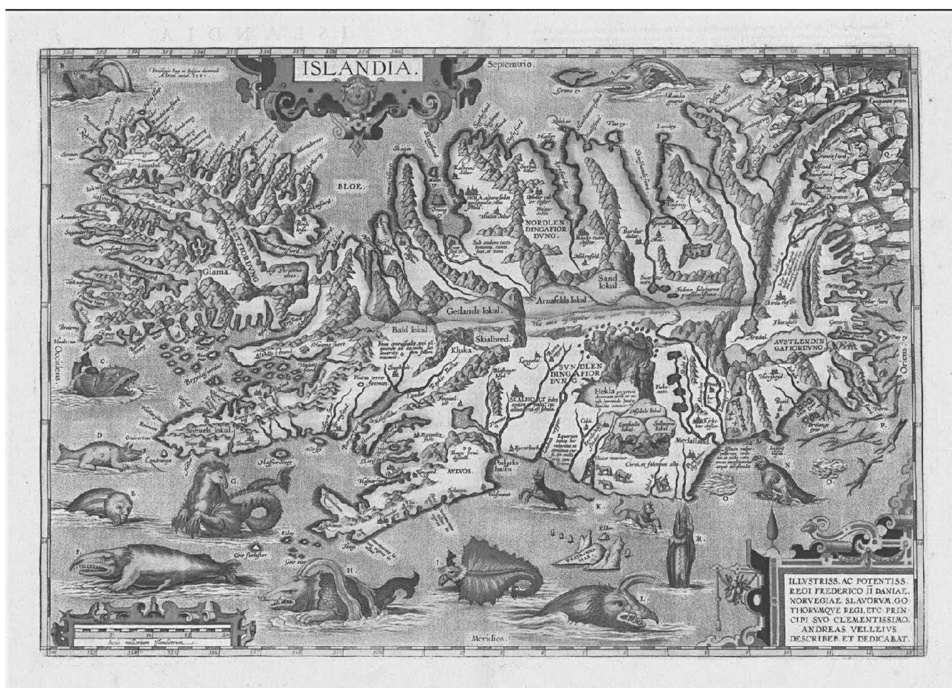
但是人类比其他任何动物都更好奇，即使是小婴儿也比新喀里多尼亚的乌鸦更擅长发现新事物、偶然和意外，并利用经验来创造新的机会。而且一旦被刺激起来，人类的好奇心似乎很难停止。当我们通过好奇的行为获得一个新发现时，多巴胺的"撞击"被传递到大脑中的奖赏中心，增加了我们记住这一发现的可能性。从婴儿期开始，纵观我们的一生，我们人类都充满了贪得无厌的好奇。我们的好奇心在我们认为自己可以得出一个好的答案或结果，但还不完全确认的情况下达到顶峰，因此，我们知道的越多，我们好奇的空间就越大。

到了三四岁，孩子们就开始对事物和人之间的因果关系进行心理"映射"。例如，他们可能会认为，因为吃东西会让你长个儿，因此吃得更多会让你无限地长下去（这是《爱丽丝梦游仙境》里的故事，爱丽丝吃了写着"吃我"的蛋糕以后，就开始无限地生长）。随着孩子们的成熟，这些因果关系的图景变得越来越复杂和准确，延伸到欲望和信念、情感和行为——包括他们自己和他人的。他们也使用这些关系图来想象世界可能会有的不同样子，包含越来越多的可能性和反事实的存在。艾利森·戈普尼克认为，这是在童年早期假扮游戏盛行的基础，幻想和想象改变了孩子们的世界。她

强调，支撑这一切的基础是爱：就像孩子们可以自由学习，因为他们受到大人的保护，他们可以自由地想象，因为他们是被爱的。

> 如果在生命的早期阶段没有感受到爱——就像20世纪90年代许多罗马尼亚孤儿一样——孩子的大脑发育很可能受到严重的损害，可能无法成长为健康的成年人。另一方面，那些在遭受创伤前有机会健康成长的孩子们，则韧性惊人。在关于奥斯威辛集中营的回忆录中，历史学家奥托·多夫·库尔卡（Otto Dov Kulka）描述了他被电网诱捕的那一刻。库尔卡回忆道，在他孩子气的思想中，他认为自己已经死了，他感觉到“从他第一次意识到死亡的那一刻起，就拥有了无限的好奇心；这种好奇心可以战胜死亡”。

“对年幼的孩子们来说，”罗伯特·麦克法兰写道，“大自然充满了门——只是门，真的——他们每走一步就会打开一扇门。树洞是通往城堡的大门。干燥土壤中的蚁穴有通向世界的另一边的门。一个私密的小空间就是一座宫殿。水坑是通向海底王国的大门。”麦克法兰正在撰写关于一个项目的论文，该项目鼓励孩子们在剑桥的欣钦布鲁克乡村公园探索半荒野的空间，然后将他们的发现绘成地图。项目负责人德布博·威伦斯基（Deb Wilenski）和卡罗琳·温丁（Caroline Wending）对结果十分惊讶，在孩子们的想象中，这些地图似乎是从地面和水流本身涌现出来的，而不是人类的手在陆地上绘制或铺设的。



这张由亚伯拉罕·奥特柳斯（**Abraham Ortelius**）于**1590**年创作的冰岛地图里画着海怪和火山，用的语言就类似于人类童年建立“地图”时的语言

随着认知世界范围的扩大，孩子们也获得了更为明确的自我意识。安妮·迪拉德对自己的记忆有一个美好的形容：“就像任何一个孩子一样，我也完全融入了自己。像一个潜水员在游泳池里遇到她的倒影，她的指尖触碰到水中的指尖，她的手腕从水中倒影的手臂上抬起。潜水员将自己完全包裹在自己的倒影中，从头到脚都密封起来，当她从游泳池里爬出来时，这个影子依旧与她同行，终其一生。”

孩子们的探险不一定只能在乡村进行。对于本雅明来说，在世纪之交的柏林，他们家院子里的一切都是“标志或暗示”。无政府主义者、作家科林·沃德（Colin Ward）指出，孩子们拥有奇迹般的能力，在最令人沮丧的环境中，也能与“同样不可思议的时间的转换力量”合作，萃取出幸福来。

安全、健康的孩子有胆量去探索，在这样做的时候，就参与了莫里斯·梅洛–蓬蒂所说的真正哲学的第一个任务：重新看到世界。出生于1793年的

诗人约翰·克莱尔在其自传中描述了一个年轻的男孩在夏天的早晨，远离家乡独自流浪的心理：

比迪拉德粗糙一些，但同样真实的描述出现在在狄更斯的《远大前程》小说中，一个叫埃布尔·马格威奇（Abel Magwitch）的罪犯有着这样的自白："我最早知道世上有我这个人时，那是在埃塞克斯，为了活命而偷萝卜吃。和我在一起的有一个男人，是个补锅匠。他后来离我而去，带走了他的火炉，只留下我一个人挨着寒冷的煎熬。"注

我想象着世界的尽头是在祈祷的边缘，一天的旅程能够找到它，所以我的心充满了希望的快乐和发现的期待，我以为走到世界的边缘的时候，低头可以看到一个大坑一样的东西，可以看看它的秘密，就像我相信自己可以通过观察水看到天堂一样。所以，我整天都在树林里漫步，直到走到了不认识的地方，那些野花和鸟儿似乎忘记了我，而我把它们想象成新国家的居民，太阳似乎也变成了新的，闪耀在天空的另一个角落，尽管如此，我还是没有感到害怕，我的追求幸福的好奇心没有给恐惧留下任何空间，我每分钟都在寻找新的奇迹，我行走于一个新的世界里，常常自己对自己说，我还没有发现旧世界的尽头。

社会主义思想家亚历山大·赫尔岑（Alexander Herzen）写道，孩子的特点并不仅仅是他或她将成长为一个成年人。"孩子的目的是玩耍，是享受自己，成为一个孩子，因为如果我们遵循任何其他的推理，那么所有生命的目的就是死亡。"很少有人能比作家兼艺术家布鲁诺·舒尔茨在20世纪初回忆他在波兰的童年时，更能捕捉到儿童不受约束的游戏的奇妙之处：

在那些遥远的日子里，我们那帮男孩首先想到了一个古怪的、不可能的想法，甚至更远……远（到）边界线逐渐消失，罗盘的指针在一个高拱的天空下飘忽不定。在那里，我们的目的是挖掘，在我们周围筑起壁垒，让我们独立于成年人，完全脱离他们的权威，宣告建立年轻的共和国……这是一种在诗歌、冒险，以及永无休止的迹象和预兆的庇护下的生活。我们所需要做的，或是说是在我们看来我们所需要做的，就是撕掉囚禁人类事务进程的古老标记，不让我们的生命被一种元素力量所侵袭，远离一场无法预料的大洪水……

我们普遍认为，当我们把孩子气放在一边，长大成人的时候，我们的惊奇感会逐渐消失。华兹华斯在1804年的《不朽颂》中写道："只是现在已非

从前。”这种观点不仅是西方浪漫主义传统的继承。在2016年的纪录片《云梦之间》中，菲尔·阿格兰（Phil Agland）生动地捕捉到了9岁到11岁的中国孩子看到如今日益被污染和危害的世界中尚存的自然时，体验到的启示性奇迹。然而，阿格兰告诉我，中国人的普遍想法是，随着这些孩子进入青少年时期，他们很快就会忘记这种体验。

“曾几何时，草地、溪流还有果树/这大地，以及每一样平常景象/在我眼里似乎/都披着天光/这荣耀和梦的开始。”

但这并不是故事的全部。在一些文化中，人们接近世界的方式似乎一直保持着一种对非人以及人类的奇迹和连通感，不仅仅在童年。罗宾·沃尔·基梅雷尔（Robin Wall Kimmerer）是一位生物学家，也是北美帕塔瓦米族印第安人，她认为这一点在她的民族语言中是显而易见的。英语是一种以名词为基础的语言，大约有30%的单词是动词；但是，就像在博尔赫斯的小说《特隆，乌克巴尔，奥比斯·特蒂乌斯》中，特隆的原始语在现实世界的对应——帕塔瓦米语大约有70%的单词都是动词：他们会说发生了什么，而非是什么。基梅雷尔以英语为例，一片水域，英语称之为“海湾”。

在帕塔瓦米族人看来，万物都是人，部落长老会让基梅雷尔去和站立的人（树）、海狸人，甚至是岩石人呆在一起。他们不同的观点启发了基梅雷尔，人类并不需要自己解决所有的问题——他们身边都有老师。

> 海湾是一个名词，指不流动的水。当海湾是一个名词时，它是由人类定义的，被困在它的海岸之间，并被这个词所包含。但是，*wiikwegamaa*这个动词的意思是：“成为一个海湾”，这个词解除了对水的束缚，让它活了起来。这个词的奇迹在于，在这一刻，生活的水已经决定在这些海岸之间栖身，与雪松树根和一群幼年秋沙鸭交谈。因为它可以随时变成一条小溪、一个海洋或一条瀑布，有其他的动词描绘这些选择。

这种语法并不神秘，而是一种更为宽厚和富有洞察力的现实主义，尊重并关注事物的过程、周期和变化。与基梅雷尔观点一致，罗伯特·麦克法兰将“景观”想象成一个包含隐藏动词的名词：

> 景观（landscape）会脱逃（scapes注），它是动态的和复杂的，它

不仅在我们的一生中雕刻和塑造了我们，而且也通过一个个瞬间和意外建构了我们。它会被消耗，也可以被补充，让我们的身体感觉像水晶一样坚硬，又或者像一群鸟一样分散和移动。

2.下午——成年期

当我们接近成年时，我们可以获得新的强烈体验。这类体验涉及的范围非常广，如果我们足够幸运的话，可以体会到从纯粹的解脱到极度的狂喜的任何感受。并不是所有这类体验都需要达到情感和智力的结合（如我在引言中所言），但很多有这些经历的人都把这种感觉描述得十分美好。

在极度的匮乏后获得满足可以带来极大的解脱。在南极独自徒步旅行了整整86天之后，几乎饥肠辘辘的年轻探险家亚历山德·加姆（Aleksander Gamme）找出了一包此前特意为返乡之旅准备的食物：一包令人垂涎欲滴的芝士虾条。没有任何文字能描述加姆从这种小吃上获得的快乐，他的反应值得专门去网上看一看视频。他贴心地解释道："很难描述当时（我是）有多饿。"

有时，强烈的体验是难以获得的，即使它根植于身体和大脑的结构与功能中。"在几个瞬间，我体验到一种平常体验不到的幸福，而另外一些人却没有这种概念。"小说家费奥多尔·陀思妥耶夫斯基（Fyodor Dostoyevsky）写道："我觉得自己和整个世界都很和谐，这种感觉是如此的强烈和甜蜜，以至于为了这种几秒钟的幸福，你可以放弃十年的寿命，甚至你的一生……我（感觉）天堂（降临）到大地……我真的（遇见了）上帝，（我）和他在一起。"他用的语言很神秘，但陀思妥耶夫斯基描述的他的这种精神状态的出现完全有物质原因：当时他癫痫发作了。

常见的癫痫会引起全身性的癫痫发作，所有区域同步放电使整个大脑皮层都崩溃。这往往会导致意识的丧失，并产生令人极不愉快的后果。但另一种类型的癫痫会让电"风暴"集中在大脑的一个小区域，此时这个人通常保持清醒状态。陀思妥耶夫斯基患有被称为局限型癫痫的病症正是属于第二种类型，通过他的日记和信件，我们知道他的病史已超过20年。

> 这种癫痫发作部位可能集中在脑岛皮层，脑岛皮层的主要功能是将身体内的"内部感受"信号（如心跳）与诸如触觉之类的"外部感受"信号整合在一起。（脑岛的前部被认为控制我们对身体和自我的感觉，这有助于创造一种有意识的"存在感"。）

神经科医师法比耶纳·皮卡德（Fabienne Picard）最近发现，局限型癫痫并

不像人们曾经认为的那样罕见。她还发现，患这种病的人的感受可分为三类：自我意识增强、强烈的身体健康感以及强烈的积极情绪。“一种无比的快乐充盈着我，这种快乐超越了身体上的感觉，”一位患者告诉皮卡德，“这是一种完全存在的感觉……我的整个身体和我自己，与生活、与世界、与‘一切’都进入一种难以置信的和谐。”

陀思妥耶夫斯基和其他一些患有局限型癫痫的人从大脑紊乱中获得的这种理想化的快乐感，是一种不自觉的孤独体验。但是，健康的年轻人也会主动寻找狂喜的体验，并且经常分享这种经历。通常，年轻人会涉及性、毒品和摇滚乐这三者中的一个或多个（我们稍后还会提到这三者之外的其他途径），但大多数人选择的则是宗教信仰，从中与他人一起获得这种体验。

福音派基督教就是一个很好的例子。“教会像一个根植人们心中的社区，因为在这里你是……基督的兄弟姐妹，并不是一群人随随便便聚在一起，仅仅为了参加一个社团。”英国圣公会的领袖人物尼基·冈贝尔（Nicky Gumbel）对哲学家和作家朱尔斯·埃文斯（Jules Evans）如是说。冈贝尔负责启发课程，这是基督教的入门课程，已经吸引了超过2 700万人来听课。他说，“信任和亲密程度会有所不同，当然，这可能会被滥用，但如果能正确地使用它们，可能是一件令人惊奇的事情。”信徒则报告说，他们经常感受到完全的爱与和平。

据报道，一些激进组织的志愿者通过建立在牢固的信任基础上的共同目标也体验到了一种狂喜。人类学家斯科特·阿特兰（Scott Atran）追踪了武装分子的社交网络和生活轨迹，尤其是那些处于欧洲社会边缘的人，认为他们是在“为崇高目的而活动”。尽管他们可能支持或犯下了暴行，但他们的情感焦点仍旧是兄弟姐妹的情谊，他们认为自己的事业是一种变革。他们通过自己心中对消费社会的不公正和分配不均的正义斗争中发现了一种归属感和救赎感。

当然，一个人不需要通过宗教教义，就能理解和感受到某种比自己大得多的东西的吸引力，而且，被强烈地提醒我们与更大世界的关系往往会产生良性的影响。一些心理学家声称，他们发现敬畏的体验——建立在“在快乐的上游和恐惧的边缘”——会让行为产生显著的积极改变。心理学家保罗·皮夫（Paul Piff）和达谢·凯尔特纳（Dacher Keltner）观察了参与急速漂流旅行和参观巨树树林的人们，以及参观更熟悉环境的人们，他们发现，与对照组相比，参观了令人敬畏的景象的人后来做出了更多的道德决定，表现出了更大的慷慨和同情心。“即使是短暂的敬畏之情……也会让人们感到不那么自恋和自傲，更倾向于（我们）共同的人性。”皮夫和凯尔特纳是他们所称的“日常敬畏”的坚定拥护者，并鼓励人们积极寻找那些让他们起鸡皮疙瘩的事物，比如看树、看夜空、感受水上的风或其他人日

常生活中的高尚行为。

> “敬畏是一种在身体上或概念上巨大的感知能力，它超越了你对世界的看法，你需要找到适应它的方法。这是一种基本的感觉，你所经历的不符合你对世界的期望，所以你必须重新校准你的认知。”——保罗·皮夫

这些“日常敬畏”的时刻，以及随之而来的觉醒感，似乎在不同时代和文化中都普遍存在。世界上许多地方的精神和宗教传统都认识到它们的重要性，并将它们纳入信仰体系中。在日本的禅宗中，这叫作“见性”（*kenshō*），即一种顿悟或觉醒。在印度教，这叫作*darśana* 或者 *darshan*，一种神圣的异象。基督徒通常将其称之为“恩典”（grace），而对于苏非派神秘主义者来说，这是一种圣光的幻象。但根据心理学家盖伊·克拉克斯顿（Guy Claxton）的说法，这种经历不一定需要宗教背景，也可能发生在那些不信教的人身上。在英国，大多数人不参加有组织的礼拜活动，但近三分之二的青少年和成年人表示他们有过这样的经历，也许这个数字会更多，只是我们不知道。

根据克拉克斯顿等人的研究，这样的时刻，或者说“一瞥”，通常是短暂且难以捉摸的，很少持续超过几分钟，有时甚至只有几秒钟。而且这类经历的强度也各不相同，从单纯的愉悦到震动了我们正常感知和感受的方式。这种感觉往往突然出现，又悄然而逝，不为人的意志所控制。虽然这种感觉转瞬即逝，但人们普遍认为这不是一种幻觉，而是来自更深层次的现实的启示，可以准确而又强烈地感觉到。

还有两点可以作为这种状态的特征。首先，这是一种典型的身体体验：具有活力和动力——通常被形容为“光明”、“能量”和“温暖”，是一种感知的强化。其次，会有一种从感觉分离到感觉相连的转变——“从渴望到归属”。克拉克斯顿说，这种状态最吸引人的特点之一是对情感的解放：“在平时你可能会因为太忙而无暇顾及，但这个时候你会注意到需要做些什么来观照身边的人和周围的环境，并且自然地去做……会有一种轻松的感觉，因为复杂的思考和关注似乎都被丢下了，生活似乎被彻底地简化了。”你体验到仿佛世间一切都很重要。

这种感觉在身体和精神上都能感受到。但大多数情况下，这种感觉并不包含性的因素：它更接近于爱而不是情欲。［小说家亨利·詹姆斯（Henry James）认为弗兰·安杰利科（Fra Angelico）的绘画也会给人这种感觉：“一种充满激情的虔诚的温柔……一种永恒的神圣的爱和被爱的感觉。”］这并不是说情爱体验一定是没有精神层面的。有爱的性爱可以是

神圣的，而神圣也可以用性爱的方式来表达，就像《雅歌》所说的：

你的爱情多么美好，比酒更美、更好。

你膏油的香气胜过一切香料。

我新妇，你的嘴唇滴蜜。

好像蜂房滴蜜。你的舌下有蜜，有奶。

你衣服的香气如黎巴嫩的香气。

“他们躺在一起……好像他们处在所有缓慢旋转的空间的中心，在他们内心深处很深的地方有什么东西在快速地搅动，从那中心发出终极的光辉。”——D. H. 劳伦斯（D. H. Lawrence）

性

动物之间的交配在许多方面令人吃惊，并且在很多方面“热情”得令人吃惊。雌雄同体的扁形虫会通过各自拥有的一对类似于阴茎的器官之一刺向对方来相互授精。一些雄性灌木蟋蟀有一对弯曲的钩，从它们的生殖器开口延伸，用来刺激雌性生殖器的敏感部位。你可以在互联网上找到很多这样的信息，包括世界上最受尊敬的公共广播公司的网站页面。BBC（英国广播公司）地球纪录片探索了“动物性器官的扭曲世界”，解释了“为什么动物有这么反常的性癖好”，例如“为什么海豹会和企鹅做爱”。但一般来说，我并不推荐你打开这扇新世界的大门。在任何情况下，在思考动物王国其他成员的性行为时，我们有时需要把窃笑放在一边，应该对这种美感感到惊讶。丹顶鹤的求偶舞蹈是地球上最辉煌的生命形态之一。倭黑猩猩的交配可能并不是那么具有生理上的吸引力，但是它们的求爱不会有冲突发生，这就很值得人们思考。

搞笑诺贝尔奖（IgNobel Prizes）是对诺贝尔奖的搞笑模仿。他们会将“搞笑诺贝尔奖”授予“先让人们发笑，然后引人思考”的研究。2016年的搞笑诺贝尔化学奖发给了德国大众汽车公司，以“表彰”其设计的新车会在污染排放量测试期间自动减少排放量以作弊，从而“为汽车减排问题做出了突出贡献”。医学奖则颁给了发现如果你左侧身体的某个部分发痒时，对着镜子（或即时视频）挠右边对称的位置也可以

很大程度上缓解瘙痒感（反方向亦然）的科学家。

交配是动物的本能——很明显，人也包括其中。有时候交配的过程错综复杂，但会带来很好的结果。有些人（似乎大部分是女性）在性高潮时会看到强烈的色彩，这属于一种联觉。对某些人来说，高潮一次只会看见一种颜色，但每一次的颜色各有不同。什么时候会看见什么样的颜色是一个好问题，而且肯定能得“搞笑诺贝尔奖”。

但不是全部“接错线”或者“串音”的结果都像高潮时能看到颜色这么美好。在《科学碰撞“性”》（*Bonk*）一书中，玛丽·罗琦（Mary Roach）描述了一个女人每次刷牙时都会达到性高潮的案例。这听起来很滑稽，但这个病让她很痛苦。这个笑话的生命力远远短于牙刷的寿命（尽管电动牙刷的发明者——一位姓伍格的博士，确实研发了一款金牌振动棒）。另一个令人费解的例子是一款患有严重的顽固性打嗝症状的人。他想尽一切办法不让自己打嗝但一直没成功，直到——大概是一个绝望的最后手段——他和他的妻子做爱，在射精那刻，他不再打嗝了。

性高潮被定义为一种自主神经系统的反射，它可以通过大脑的输入——也就是说，通过你的思维和感觉，来促进或抑制。这是一个相当乏善可陈的定义，但它确实阐释了性欲的重要特质。不管我们给它附加什么，我们谈论的“性”在很大程度上是一种本能和原始的行为。自主神经系统——它也调节心率、消化和呼吸率，以及诸如咳嗽、打喷嚏和呕吐等反射——在很大程度上是无意识控制的。它与能传递皮肤的感觉，并能实现自主运动的躯体神经系统不同。（与躯体系统不同，自主系统并不仅仅通过脊髓来传递，这意味着，一些因脊髓损伤而瘫痪的人仍然能够体验到性高潮。）脑部扫描显示，女性大脑中的许多区域在达到性高潮的时刻会静止——令人惊讶的是，会静止的区域还包括那些涉及情感的区域。据报道，这种效果在男性身上没有明显的特征，但这可能是因为男性的性高潮时间较短，而且（在大脑中）更难检测。

这并不是说我们在性交中的想法和感觉并不重要。所有的证据都表明，人类最细腻、最强烈的性快感，取决于伴侣在对爱人的感觉和欲望进行了想象性的协调的基础上实现的性唤起。威廉·马斯特斯（William Masters）和弗吉尼亚·约翰逊（Virginia Johnson）在20世纪70年代发表的一项研究表明，同性恋人往往比异性恋人更善于将伴侣带到高潮。这是因为他们（尤其是女性）“倾向于缓慢地移动……并在（每一个）刺激反应的阶段进行逗留，使对方在每一步的张力中增加一些乐趣和快感”。与许多异性恋者相比，同性恋者会对自己的伴侣表现出更多的同理心，并且会延长每一次的挑逗，他们往往不那么专注于“完成工作就行”。很明显，如果我们想让性行为成为一种更奇妙的体验，我们很多人都需要学习很多东西。哲

学家吕斯·伊里加雷（Luce Irigaray）认为，当男人和女人以完全开放的心态去尊重对方不可约的差异，并以慷慨回应时，他们会获得前所未有的惊奇感。她写道："奇迹不仅对生活不可或缺，而且……创造一种伦理，尤其透过性差异并且关于性差异。无论是男性还是女性，都应该一次又一次地让令自己惊讶，永远保持新鲜感，与所知道的或所认为他或她应该成为的样子截然不同。"

药物

爱情是毒品，洛克西音乐团这么唱道。但是这并非唯一一种强烈的、使人更加快乐和满足的体验。获得愉悦体验的最普遍方式是酒精，至少在西方如此。与性高潮不同的是，酒精几乎完全作用于大脑，它通过与至少两种化学物质结合而起作用。第一种叫作伽马氨基丁酸（GABA），使得酒精起到镇静剂的作用，让大脑平静下来，让大脑的主人感觉到异常放松；另一种物质则是谷氨酸，会让大脑兴奋，让大脑更加活跃。这两种影响似乎是不一致的，因此麦克白夫人说："那些让他们喝醉的东西却使我胆大了；扑灭他们的火苗的东西却让我燃起了欲望之火。"同时，酒精也会触发大脑区域内多巴胺的释放，后者与快感和奖赏机制相关。对一种基本上是酵母产生的化学物质来说，起到这种作用相当不错了。

在许多国家，酗酒造成了许多损失，更令许多人丧命。滥用其他改变精神的化学物质也会造成严重的伤害，但有证据表明，适度和谨慎地使用某些化学物质，在某些情况下是有益的。一些研究人员正为LSD（麦角酸二乙基酰胺）、裸盖菇素和死藤水（ayahuasca）请求特别使用权。他们认为，在严格的管控下，这些药物可以为人的健康做出极大的贡献，并为人探索非凡的奇迹打开大门。

在20世纪60年代中期之前，美国联邦政府资助了数百项试验，将迷幻药用在酗酒者、强迫症患者、抑郁症患者、自闭症儿童、精神分裂症患者、晚期癌症患者和罪犯身上，也用在健康的艺术家和科学家身上以研究创造力，用在神学院学生身上以研究灵性。尽管许多研究并未按照现代标准来进行设计，但也经常会获得积极的效果。随后，LSD很快从实验室流出，成为反主流文化的标志。越来越多的人开始使用致幻剂以作消遣，从而导致精神错乱、幻觉重现和自杀。1970年，美国政府禁止了对致幻剂的任何用途的使用，相关研究也因此停止。

在过去的十年里，人们对迷幻药可能带来的好处重新产生了兴趣，美国和欧洲的大学也进行了一些临床试验。2006年，精神药理学家罗兰·格里菲思（Roland Griffith）发表了一篇关于在严格控制条件下，对健康志愿者进行裸盖菇素注射试验的论文。论文报告道，裸盖菇素可以产生具有"实

质性和（持久的）个人意义和精神意义上的神秘体验”，包括合一的感觉，神圣的、不可言的、平和的、愉悦的感觉，超越了时空的感觉，以及体验揭示了一些关于现实的客观真理的感觉。在这项研究中，三分之一的参与者认为这种体验是他们生命中最具精神意义的，而三分之二的参与者将其列为前五名，仅次于孩子出生或父母死亡等事件。然而，并非所有的体验都是正面的。大约有五分之一的人报告感到有负面情绪，如焦虑。

“我化为乌有，我却遍览一切；宇宙精神的湍流环绕激荡着我。我成为上帝的一部分，我是他的微粒……我从地上望去，好像是从岸上遥望寂静的大海。天色瞬息变幻，我似乎也参与其中；自然界生动的魔力，接触到我的四肢百骸；我觉得我的生命扩张，同朝风混成一片。”——拉尔夫·沃尔多·爱默生

在2015年的一篇关于迷幻药研究复兴的文章中，记者迈克尔·波伦（Michael Pollan）写道，新一波试验中没有出现任何不良反应，其中许多试验都是针对晚期癌症患者进行的。这可能是因为这些病人接受了仔细的检查，对即将到来的体验有足够准备，并由训练有素的治疗师指导，以应对有时会发生的恐惧和焦虑。波伦指出，每个人的体验都是不同的，但也有重复的主题。他所采访的几位患者描述了分娩或出生的经历。宇宙伟大的秘密——比如“我们都是一体”或“爱是唯一重要的事情”——变得清晰起来。波伦写道：“成人思维中常见的奇迹与平庸之比被翻转了，这些想法获得了揭示真相的力量。总体结果体现出一种皈依性的经验，研究人员认为这是产生治疗效果的原因。”患者也陶醉于时空旅行的感觉中。这听起来有点像爱默生（非药物诱导的）成为一个透明的眼球的超然体验，他感觉身体在溶解，但作为感知和记录的自我仍继续存在。

罗兰·格里菲思将裸盖菇素的治疗经验描述为一种“逆PTSD”。“即一个独立的事件，它会产生持续数年或数十年的积极变化，影响人们的态度、情绪和行为，甚至可能整个大脑。”然而，他强调说，这种药物不能替代持续的个人反思和自律精神所带来的精神健康效益：“在这个世界上，精神体验和精神生活之间是存在着差异的。”格里菲思还强调，在没有适当的精神病筛查、准备和监测的情况下，使用裸盖菇素极易产生实质性风险。尽管如此，在谨慎控制的情况下使用的结果仍然是积极的。在一次试验中，有80%的吸烟者在三次服用裸盖菇素后戒烟，6个月后仍不复发。这个成功率比迄今为止最成功的戒烟计划高一倍还多。

也有人为LSD请求特别使用权。神经精神药理学家戴维·纳特（David Nutt）和罗宾·卡哈特–哈里斯于2016年发表的一项研究表明，服用这些药物后，大脑的许多区域都会在机器上“亮起”，这说明药物让他们体验到的

图景提取自大脑的许多部位，而不仅仅是视觉皮层。另一项研究声称，LSD产生了幸福感、信任感、亲近感，并增强了外显和内隐的情感共鸣。然而，目前医学界绝大多数人对所谓的优点仍持谨慎态度和/或怀疑态度。在英国，裸盖菇素和LSD仍然是A类管制药品，在美国属于1类管制药品，这意味着它们被滥用的危险仍然很高。

一些支持使用迷幻药的人对他们相信药物能带来的精神潜能更感兴趣，而不是药物本身的治疗潜力。他们更愿意使用“宗教致幻剂”（entheogen），或“神的促进剂”的表述，而不是“迷幻药”一词，因为这听起来仅仅是在头脑中显像而已。在荷兰和巴西存在的圣多姆教派的仪式中使用了亚马孙的藤蔓植物做成的死藤水，它被原住民巫师用来诱导出非凡的意识状态。圣多姆教堂的发言人表示，死藤水可以帮助成年人成为更好的孩子，这听起来像是《圣经》里《马太福音》中的一段经文。使用死藤水的做法现在已成为笑柄，有人在2016年讽刺地说，一位南美裔巫师祭司自己都不敢举行另一场指导技术公司首席执行官的精神统一的活动。但是，撇开玩笑不说，听听一名拥有显赫工作的健康男性参加了圣多姆仪式的感受：

> “除非你们……变成小孩子的样式，否则断不得进天国。”——《圣经·马太福音》18：3

随着（死藤水）开始发挥作用，音乐与房间中的空间发生了一种黑暗的共鸣，我开始感到一种深沉而又痛苦的恐惧，这种恐惧在幻觉中成形。我闭上眼睛，我看到恶魔们从黑暗的世界里向我走来……在这可怕的20分钟左右的时间里，我感觉自己要被拖进黑暗的深渊一样，我旁边的那个（仪式助理）的强大集中的力量给了我很大的帮助。

恶魔如此真实清楚地出现在我面前，但在某个时刻，我意识到，我唯一的出路就是通过爱……我把目光投入妻子，想象着把她紧紧地抱在怀里，这时候，我的胸前出现了一道光。这道光不断地变亮，改变了我周围地狱般的景象，所有的颜色都变得越来越亮……当我看到我的未出生的孩子（我妻子当时已经怀孕14周）作为一个小女孩在我的怀抱里时，我在胸中感受到的爱变得更加强烈了。我看着这个婴儿抽泣出声，过了仿佛有好几个小时，带着泪水的我才从黑暗中重见光明……

现在，爱与和平作为体验的核心存在，幻象也更多地以秩序和对称的形式显现。我融入了更高的世界，它非常壮观，不断变换着对称的几何表面和结构，就像半机械、半有机的水晶构成的城市一样，与动

物、鸟类、半人类形态和神的形象交织在一起。这不是幻觉……在这几个小时里，我确实身处在这些完美的超复杂的世界里，对自己一遍又一遍地重复着“永远不要忘记，永远不要忘记这幅景象”。

摇滚乐

在亚马孙、纽约或荷兰开启一场“死藤水”冒险或许离改变情绪或提高生活质量还很远。更为普遍且更容易操作的改变情绪的一种方法是通过音乐，而且人类可能自诞生起就开始通过音乐获得愉悦了。当然，使用药物和音乐并不互相排斥，但音乐本身就有非常强大的力量。

《洋葱报》1955年11月21日的标题是“白人发明了摇滚乐”，并说“政府向公众保证黑人与流行音乐没有任何关系”。这则笑话当然是为了嘲讽种族主义，但这也说明了一些美国白人有些难接受最代表酒神精神、充满迷醉（德语：Rausch，意为让我们精神亢奋）的音乐的复兴。

> 在现代德语中，Rausch有“迷醉”的意思，而它实际上历史悠久，意蕴丰富。对于歌德来说，它表达了一种永不停歇地对达到无尽快乐的过程；于尼采来说，它是兴奋、狂喜、原始欲望、权力意志与宇宙的统一。

对音乐诱发人类本性的狂喜而感到不安，在欧洲文化中十分常见。1557年10月，在如今位于里约热内卢的当时的一块法国殖民地小岛上，一群曾经被许诺宗教自由的法国加尔文派教徒被天主教徒残忍驱逐。绝望的他们逃到大陆上的图皮纳巴印第安人那里避难。让·德莱里（Jean de Léry）在他的日记中记录了自己在看到图皮纳巴印第安人的仪式时的恐惧和惊讶：

> ……我们开始在男人的房子里听到……低沉的耳语声，像是有人在喃喃自语地吟诵着他的时光。听到声音后，妇女们（约200人）都站起来，聚集起来，聚精会神地听着。男人们（慢慢地）提高了嗓门，可以清楚地听到他们一起在歌唱，一直重复着这一句劝勉的话：Heu, heu, heu, heu。让我们惊奇的是，女人们也开始用颤抖的声音，从她们的那一侧应答……这样的哭声持续超过了一刻钟的时间，看着他们的我们已经完全惊慌失措了。他们不仅嚎叫，而且还猛烈地跳到空中，使他们的乳房都抖动起来，口吐白沫……我只能相信有魔鬼进入了他们的身体，让他们完全疯狂了。

但随后，情绪发生了变化：

> 在这些混乱的噪声和嚎叫结束之后……我们听到他们再次一起歌唱，发出了优美和谐……甜美而亲切的声音。一开始……我曾经有点害怕，现在我感到快乐，听到这样和谐优美、抑扬顿挫的声音，我站在那里，高兴得不得了。每当我想起这件事，我的心就会颤抖，似乎他们的声音仍在我的耳边萦绕。

在一个完全陌生的文化环境中，德莱里从音乐中获得了短暂的慰藉。但给他带来如此甜蜜的快乐的声音，对于创造出它们的图皮纳巴人来说，含义还要深远得多——音乐和舞蹈中戏剧性的弧线，包含了更多动荡的情感、恍惚的状态，大概还有一种宣泄。或许，图皮纳巴人与早期的现代欧洲人不同，他们的宗教实践和艺术中充分融入了黑暗和狂喜的一面的价值。

在最近的一项研究中，音乐心理学家阿尔夫·加布里埃尔松（Alf Gabrielsson）要求瑞典人描述他们在音乐中获得的强烈感受。答案五花八门：

> 听伦拜（Lumbye）的《香槟加洛普》、鲍勃·马利（Bob Marley）的《出埃及记》或巴赫的《马太受难记》，会有一种失重的感觉……有些人则用比喻来描述感受：雪绒花（巴赫），石柱（莫扎特），香座（贝多芬），烧得通红的烤面包机（瓦格纳）。还有人把听音乐的感受描述成腿里灌满了柠檬汁、被激光束击中、坐过山车或被钉在板凳上的感觉。其他的感觉还有满足、感激、完美、爱、严肃、谦逊、钦佩、爱国情怀和性欲。音乐与疾病和死亡（例如葬礼）和爱的关系尤其强大。它能让你突然获得改变一个局面的灵感。演奏和表演的人往往感受到最强烈的情感，包括完全的参与感、无惧、忘却时间、忘我、恍惚、集体无意识、普遍的人性等。

另一位音乐心理学家约翰·斯洛博达（John Sloboda）提出了一种给这些不同的音乐体验分类的方法。当我在伦敦的市政厅音乐学院见他时，他描述了（至少在工业社会）这些体验倾向于形成三种类型。他告诉我，最高的水平是一种高峰体验。这是一类非常强烈、令人难忘且多年之后还会想起的、改变生活轨迹的时刻的体验。这样的体验往往十分罕见的、无法预见，只是碰巧发生了。下一个层次是震颤：对音乐的本能反应，通常会表现出生理反应，如喉咙哽咽、眼睛流泪或脊背发冷等。震颤的体验要比高峰体验频繁得多，而且往往是可以预见的。大多数人都能描述出一段音乐

中的哪个位置让他们震颤——通常是音量、节奏或音调的变化，或者是歌手唱出一个特定的、充满感情的词汇或短语的声音，而且大家的看法倾向于一致。这种体验通常不会持续很长时间。在斯洛博达的类别中第三类的经验往往与日常生活中的音乐有关。人们往往会刻意地去演奏或聆听音乐以改变自己的情绪——通常是为了让自己在几分钟甚至几个小时的时间内充满活力，有些人每天会多次以这样的目的来使用音乐。

通过他的分类，我从中发现的一点是，从音乐中获得的巅峰时刻和震颤是很好的，但我们也不应该低估日常音乐和舞蹈的好处——尤其是因为它们有时会意外地把我们带入一个极为重要的庆祝的时刻。在芭芭拉·埃伦赖希（Barbara Ehrenreich）的《在街上跳舞》这本描述她的快乐经历的书中，她以对里约热内卢的街头庆祝活动的描写结束全书。她写道，这样的庆祝没有任何“意义”——“没有宗教色彩，没有意识形态的信息，也没有钱可拿，只是在这个拥挤的星球上非常需要的机会，让我们通过某种形式的庆祝来承认我们同时存在的奇迹”。也许她观察到的第一部分内容并不完全正确：里约庆祝文化的意义可能在于，它不仅是在城市生活的不公正和暴力的情况下诞生发展的，而且是一种藐视它的方式。但是，埃伦赖希描述在里约热内卢的街道上的那段文字，恰好说明了音乐和舞蹈产生快乐的原因：因为它们都是参与性活动。

> “我们需要更少的崇拜、更少的消耗和更多的玩乐。”——朱尔斯·埃文斯

我在尝试使用一些日常的方式来做这样的事情，比如在社区合唱团唱歌。我们并不是歌唱天才，但我们也不会太过愚笨，我们在合作中获得的成就感和快乐远远大于我们唱歌的质量。我们所做的事造就了我们生活中一个微小却意义非凡的奇迹。我们是一个古怪的、不太成功的群体——任何一名里约的市民都会嘲笑我们的演唱动作——但我们都十分善良，而且我认为我们与刚果雨林中的俾格米人有共同之处，他们不仅会享受音乐，而且还会（如他们所说）为了“让雨林感到快乐”而创作音乐。

> “我从演奏中得到的乐趣不是表达自己的快乐，而是被音乐征服，体验了作为其中一部分的狂喜。”——史蒂夫·赖希

3.晚上——老年期

我们幼年和成年期获得的奇妙经历，就像本章前两节所探讨的那样，其影

响往往是瞬时的，且伴随着强烈的身体感受。但还有另一个维度，我认为那是“真正的”奇迹，它是一种强烈的认知参与——是一种强烈的思想和感觉，或者至少是以此开始的。正如我所描述的那样，这个更深而更大的奇迹不仅描述了瞬时存在或显现出的事物，也描述了没有在当时立刻显现出来的事物。它将当下的体验（或强烈的记忆）与更宏大的视角结合起来去创造一种意义感。这种奇迹并不局限于老年人（也有一些老人不存在这种经历）。在菲尔·阿格兰关于中国环境危机的纪录片中，9到11岁的孩子们的面孔上也会显现出这种神情。但对于那些活得更久的人来说，这一点尤为突出，因为他们有更多的时间来回顾和反思。

心理学家丹尼尔·卡尼曼认为大脑中有系统1和系统2两种思考方式，系统1是快速的、本能的和情感的，系统2是缓慢的、慎重的和合乎逻辑的。我认为，真正的“奇迹”可以充分发挥两者的作用。

如果我们把目光放长远些，就会发现，答案并不总能令人满意。正如爱德华·吉本（Edward Gibbon）所写的那样：“历史实在不过是人类的罪行、蠢事与不幸的记录。”事实上，有很多观点认为这三者都远远早于书面记录，而且在人们还处于一无所知的远古社会时就已经普遍存在了。

特德·休斯（Ted Hughes）写道：“在最干练的大人面孔的背后，是一个像防止水从边缘溢出来一样的、被小心翼翼控制着的童年。”

还有很多人认为，人类往往倾向于“为消极而兴奋”。2001年，罗伊·鲍迈斯特（Roy Baumeister）等心理学家从大量研究中发现，坏的情绪、坏的父母和坏的反馈产生的影响要比好的情绪、好的父母和好的反馈更多，而且我们对坏的信息的处理也比对好的信息更加彻底。他们认为：“自我更有动力去避免坏的自我定义，而不是追求好的自我。糟糕的印象和负面的刻板印象比优秀的印象更容易形成，且更加难以消除。”我们会把事情想得更糟，我们会浇灭热情。

而且，我们人类似乎比其他一切生物更容易恐惧。小说家和散文家玛丽莲·鲁滨逊（Marilynne Robinson）认为，恐惧可能是人类的一种默认姿态。她的观点来源于她在她自己的国家——美国的经历，但是研究表明，人们时常感到恐惧，这不仅仅是特定的文化和政治条件的结果。大脑的杏仁核——产生重要、丰富情绪的位置，对形成恐惧起到至关重要的作用——内的活动瞬息万变，而且是无意识的。一些研究人员猜测，人类的演化过程使得恐惧在人类心理状态中占据主导地位。也许我们遥远的祖先，因为易受可怕的动物捕食者和其他人类的攻击，把一个经常歇斯底里的心理状

态也遗传给了我们。

> 历史学家尤瓦尔·赫拉利（Yuval Harari）说：“大多数顶级的食肉动物都是伟大的生物，数百万年来居于食物链顶端的地位使得它们充满了自信。相比之下，智人更像是一名香蕉共和国的独裁者。在草原大迁徙中，我们对自己的处境充满了恐惧和焦虑，这使我们变得更加残忍和危险。”

除恐惧之外，还有人认为我们被欲望操控。亚里士多德曾说，“欲望的本质是永不满足，而大多数人的生活只是为了满足它”。一些科学家认为他们已经找到了这种说法的神经解剖学基础。似乎我们大脑的连接方式决定了我们的欲望总是超出我们的喜好。欲望和愉快来自大脑中两套独立的化学系统。欲望系统是巨大且强大的；愉快系统则要小得多，且更难触发。因此，我们很容易成为一台贪得无厌的机器——如同饿鬼一般。当大脑的正常控制系统受损时（如克吕弗–布西综合征），这种情况就会发生，其症状表现为贪得无厌的饮食和性欲的增强，有时还会伴随着易怒和注意力分散。但是，即使没有大脑的物理损伤，我们在一个高度一体化和高度资本化的世界里也容易被分散注意力，产生无休止的欲望，导致哲学家马修·克劳福德（Matthew Crawford）所说的“大脑的肥胖”。哲学家罗伯托·昂格尔（Roberto Unger）则断言：“人类的欲望是不确定的。人类没有像其他动物那样展现出具有目的性、规划性的欲望。即使当我们将注意力集中在特定的物体上时（比如处于上瘾和痴迷的状态的时候），我们也只是将这些特定的物品作为欲望的替代品，而替代品与欲望本身之间的关系是松散且任意的。”

> “美国正受到流行性注意缺陷障碍、假新闻、黑客攻击、网络战争和社交媒体的威胁。”——丽贝卡·索尔尼特

心理学家文森特·迪里（Vincent Deary）表示，习惯也同样如此，“我们愿意付出巨大努力，只为了保持一成不变的生活”。我们这样做是因为一成不变的生活是熟悉的，因此是舒适的。［顺便说一句，这可能是拖延的主要原因之一，心理学家塞思·罗伯茨（Seth Roberts）认为拖延是我们为了避免发生变化而倾向于反复做同样的事情的现象。］针对这一点，商家们已经找出了加强和利用我们倾向于保持习惯这一特点的方法。例如，一个成功的app（手机应用程序）可以创建“持久的反复操作”或“玩乐回路”，不断触发需求，并提供瞬间解决方案。前游戏设计师尼尔·埃亚尔（Nir Eyal）说：“厌倦、孤独、沮丧、困惑、优柔寡断等感觉往往会导致轻微

的疼痛或刺激，并促使人们立即采取行动，哪怕是盲目的行动，以消除消极情绪。渐渐地，这些联系就会固化成一种习惯，用户在感受到某些内部触发因素时，就会打开你的产品。”经济学家乔治·阿克尔洛夫（George Akerlof）和罗伯特·席勒（Robert Shiller）指出，拉斯维加斯赌场的老虎机就是一个特别成功的例子。十年前，在赌场里，由心脏停搏导致的死亡是一个特别严重的问题，但是很多时候死亡的原因其实在于赌场拥挤导致紧急救援人员无法及时到达。“一段监控录像显示……当急救小队……在帮心脏停止的患者除颤时，周围的玩家依旧在玩游戏，他们神情恍惚，尽管伤者就在他们脚边，也浑然不觉。”更广泛地说，在社会中，当我们一边走路一边盯着屏幕查看新闻，不断点刷新键查看新的推文，而不是和朋友聊天的时候，我们对周围的世界就不那么关注了，因此更有可能错过一些令人惊奇的时刻。人的欲望可能不一定如昂格尔所言那样是不确定的，但在互联网的茧壳中，正如作家和记者乔治·蒙比奥特（George Monbiot）所说的，“失去了对伤害和治愈、疲惫和坚决、冻结和狂喜的本能的了解”，我们就失去了基本的参照点，变得容易受到神经营销，甚至更糟糕的操纵行为的伤害。

在“玩乐回路”中，我们一遍又一遍地重复做一些事，因为每隔一段时间我们就会得到一次奖励。就像鸽子一样，当反馈得不到保证的时候，我们更渴求反馈。

“为了生活在自由中，人们必须适应充满焦虑、变化和危险的生活。”——亚历克西斯·德·托克维尔（Alexis de Tocqueville）

“从理论上讲，自由可能会受到高度重视，”佛教作家史蒂芬·巴彻勒（Stephen Batchelor）说，“但在实践中，它是一种令人眩晕的失去意义和方向的体验。”有些人甚至认为追求自由是可鄙的。《出生的烦恼》（*The Trouble of Being Born*）的作者，哲学家和散文家埃米尔·乔兰（Emil Cioran）认为自己注定在这个世界上经历对一切事物的厌倦、无聊、无意义感和反叛的愤怒。他曾写道：“自杀不值得，因为不管什么时候自杀都太晚。”作家米歇尔·韦勒贝克（Michel Houellebecq）——如一份报告所说，他的面部肌肉发达，“似乎进化出了一种能表达无限多种不同程度的失望的能力”——认为欧洲人下了一个赌注，赌他们越是扩展人类自由，他们就会越快乐，但他们赌输了。

“对于乔兰来说……思考并不意味着感谢……而是意味着报复。”
——彼得·斯洛特代克（Peter Sloterdijk）

但是关于残忍、恐惧、上瘾之类的概述并不是生活的全部。很多人一次又一次地找到了克服它们的能力和勇气。正如诗人赖纳·马里亚·里尔克（Rainer Maria Rilke）所说：“如果（世界上）有恐惧，就是我们的恐惧；它有难测的深渊，这深渊是属于我们的；有危险，我们就必须试着去爱这些危险。”

“灵魂是无限深渊组成的神奇深渊，无尽的海洋，无穷无尽的海洋之泉。”——托马斯·特拉赫恩

哲学家赫拉克利特（Heraclitus）在公元前6世纪上半叶出生于希腊，他说，所有的事情都源于一种对立的冲突。整体的产生依赖于对立两方张力的平衡，就像拉紧的弓弦或里拉琴弦，弦倾向于收紧，我们的肢体动作则倾向于把它们拉开，这两个张力形成了一种平衡。比如说，人体随着时间而产生的变化轨迹。如果不受阻碍，身体的许多细胞将趋向于无休止地繁殖和生长，并可能产生癌变。只有当个体细胞的繁殖驱动力通过程序性细胞死亡等机制被抑制或保持平衡时，整个身体才会继续蓬勃发展。我们的活着和死亡之间存在着一种持续的紧张关系。

再考虑一下意识体验的综合性特征，它将不同的事物结合在一起。在一首名为《遭遇》的短诗中，切斯瓦夫·米沃什（Czesław Miłosz）回忆起黎明时分乘坐一辆马车穿越冰冻的平原的时刻，一只兔子突然跑过马路，车上的一个人指着兔子。这时，诗歌内容一转：它所描绘的景象发生在多年以前，无论是兔子还是那个做手势的人都已经不在了。整首诗和呈现于我们面前的这一页，存在于它所回忆的紧张关系中，这种张力已经不可挽回地消逝了，事实上，在某种程度上它正是以这种方式被人们所记住。

“……他们在哪里，他们要去哪里/闪过的一只手，疾驰的马车，沙沙作响的卵石。/我发问，不是出于悲伤，而是出于惊奇。”

诗人莱斯·默里（Les Murray）指出，卡尔·荣格和他之前的许多人都将意识的综合体验称为“灵魂”。但他不想采用已经被过度使用的词，默里更喜欢称之为“诗性自我”，在其中，他的三个普通的状态——清醒的意识，梦中的神秘意识，以及身体——都是统一的：

> 融合……产生一种兴奋，经常如此强烈，以至于我不能连续忍受它太久，我必须站起来，去外面休息一会儿，然后再回来继续感受它。我在这段体验中所写的诗将包含这段体验，体验越强烈，诗写得就越

好，在恍惚状态离开我之后，诗中将继续包含它。

在一首好诗中，听众和读者可以感受到作者经历的综合体验。而且，在被文字固定之后，我们就可以回溯到奇迹之处寻找安慰。其他的艺术也同样如此，在最引人入胜的故事中，我们讲述自己真实的生活和我们所做的选择，时间长河中的事件通过叙述集合起来形成故事，从而获得能量和意义。

以布赖恩·史蒂文森（Bryan Stevenson）为例，他是一名律师，致力于反对美国终身监禁儿童的法律，支持撤销因为司法不公导致的误判死刑，也致力于在所有案件中废除死刑。他在他的书《正义的慈悲》（*Just Mercy*）里说，他投身于这项事业的动力之一来源于40多年前，他10岁时母亲对他的教诲。那是一个星期天的早晨，做完礼拜，他和朋友们遇到了一个从外地来的小男孩。这个男孩说话口吃得很厉害，甚至连自己住的那个城镇的名字都不会念出来。小史蒂文森从来没有见过口吃的人，他以为这个男孩是在开玩笑，因此笑了出来。然后他注意到他的母亲带着震惊、愤怒和羞耻的表情看着他。“不要因为别人说不出话来而嘲笑他们，”她说，“永远不准这么做！”史蒂文森被母亲的斥责震惊了，然后，让他更窘迫的是，母亲在他的朋友面前让他拥抱眼前的这个陌生人，并告诉他，他爱他。小史蒂文森照做了，先笨拙地拥抱了那个男孩，最后，在母亲的坚持下，他对男孩说他爱他。男孩抱着他说“我也爱你”，完全没有口吃。“他的声音是如此温柔和真挚，”史蒂文森写道，“我都快要哭了。”那一天，史蒂文森发现了自己的同情心，这份同情心无所不在地体现在他一生的工作中，即为那些无法说话的人发声。

神学家托马斯·贝里（Thomas Berry）讲述了20世纪20年代他童年时期居住在北卡罗来纳州时的一个故事。79岁的贝里回忆起大约12岁时他和家人一起搬家，去往一座溪边的新房子。小溪对面是一片草地。“那是5月初的一个接近傍晚的时候，当我第一次俯瞰那片景色，看到草地时，”贝里写道，“厚厚的草上铺满了百合花。这是一个神奇的时刻，这段经历给我的生活赋予了某种意义，它似乎比我能记得的任何其他经历都更能解释我的生活。”他写道，这一早期的经历在他后来的生活和思想中成为一条准则：“所有保护和有益于大自然循环中的这块草地的行为都是好的；反对或者否定这片草地的行为都是不好的。我的人生价值取向就是这么简单。它也是普适的。它适用于经济和政治方向，也适用于教育和宗教。”

> “久未谋面的闪光时刻比年龄、逻辑和知识更加意味深长。”——埃米·利奇

回忆这些事情的时候，史蒂文森和贝里都已经上了年纪，他们得以回溯过去，纵览自己作为整体的存在，并追踪贯穿其中的意义。这种反思几乎任何时候都会发生，而当我们强烈意识到死亡的临近时，这种情况出现得格外普遍，在这个时候，生活的本质可以清晰而明显地呈现出来。雷蒙德·塔利斯写道："这种有限的感觉激发起了一种不顾一切的欲望，让我们对事物产生一种更深层次、更一致的感觉，并感受到伟大，让我们零碎的、有次序的、片段式的、小世界式的认知方式在意识中与我们所处的伟大世界平等。死亡是一种威胁，一种刺激和一种鼓舞。它的力量可以让我们所有的人都能活得更丰富。"

神经外科医生保罗·卡拉尼什（Paul Kalanithi）在36岁时被诊断为肺癌晚期，他和妻子露西讨论是否要生孩子，"你不认为和孩子说再见会让你的死亡更痛苦吗？"她问他。"如果是这样的话，说不定会很美妙呢？"他回答。卡拉尼什选择了走向痛苦，他赌这样的体验也会带来一些美妙的东西，而在他的例子中确实如此。不到两年后，卡拉尼什临终前给自己健康的女儿卡迪写了封信，信中说："当你来到生命中的某一个必须给自己的一生做出总结的时候……不要低估自己对一个垂死之人的重要性……你给我带来了一种我在之前的岁月里都未曾了解的快乐，一种不会令人渴求更多，但是令人放松和满足的快乐。"

"甜蜜是苦海。"——理查德·杰弗里斯

智慧是什么，我们难以下定义。一项跨文化研究找出了智慧的六个组成部分：务实的生活知识、情绪调节的能力、忠实于既定社会道德准则的行为、了解自己的长处和局限性、果断以及接受不确定性的能力。没有人能保证人在年龄增长后一定会获得这些能力，一个人也并不非得活得长才能拥有聪明和快乐。托马斯·特拉赫恩写道："我从无到有地诞生，能够看到并享受这个光荣的世界，这是一种无法估量的快乐。"他在37岁时死于天花。而智慧对某些人来说可以而且确实是在晚年拥有的。也许，随着死亡临近，但还没有近到完全吞噬生命的时候，人更容易脱离自己的直接自我，变得更像俯瞰一切的审查者。卡尔·萨菲纳（Carl Safin）写道，"关于我们想法的最美妙之处，是我们隔着一段距离（而非从镜中）看到自己的偶然的胜利时刻。"

"天才会不断地失败，但不会被失败摧毁。"——理查德·霍洛韦（Richard Holloway）

托马斯·布朗写道："我们不知道自己来到这个世界时经历了什么样的冲突

和痛苦，但离开这个世界的痛苦我们通常不容易摆脱。”没有多少人能像哲学家大卫·休谟那样幸运，他在1776年去世前不久写道，尽管自己的身体已经大不如前，但他从未经历过片刻的精神衰退，在研究上拥有一以贯之的热情，和朋友在一起也同样如此。而医生奥利弗·萨克斯（Oliver Sacks）似乎已经接近这种状态，他在2015年去世前不久写了一段简短的文字，说他能从一个伟大的高度看到自己的人生，并对各个部分之间的联系有了更深的理解。作家珍妮·迪斯基（Jenny Diski）在2016年自己接近死亡的时候，为那些临终时感到痛苦的人提供了适度的援助。正如我们为小孩子写书，帮助他们学习他们突然发现的这个世界的名字、行动和描述，她建议我们也应该为那些逐渐失去语言和记忆能力的人写一本书。“孩子的书是关于成长的，老年人的书是关于离去的，它应该具有前所未有的美。”

“爱智慧的人一定会知道很多事情。”——赫拉克利特

纽约布法罗的一家临终关怀医院进行的一项研究发现，几乎所有患绝症的病人在死亡前不久都会做梦或出现幻觉。其中大部分的描述是令人欣慰的，不过大约五分之一的人会感到痛苦。其他研究也表明，梦能表达内在的情感，不仅包含积极的梦，也包含不安的梦，后者常常与个人过去未解决的问题有关，可能会爆发出巨大的能量。通常情况下，在生命最后的谵妄或无意识发生之前的几个小时里，人们会试图找寻意义。这些梦和幻觉的背后是对解决和宽恕，给予或拒绝爱的需求。即使是对俄狄浦斯这样最不幸的人来说，他的结局也包含一些美妙的东西（至少在索福克勒斯的想象中是这样的），因为他是在对女儿平静的爱中离去的。

“我不管你多大了，把事情做得漂亮就好。”——乔治·桑德斯（George Saunders）

在莎士比亚的《暴风雨》中，最美妙的事情不是普洛斯彼罗高强的魔法，而是他女儿米兰达和他的敌人的儿子费迪南德之间的爱情。他们能够把过去的芥蒂抛诸脑后，重新开始。这个有魔力的人的成就在于，认识到自己的死亡和所有事物的有限性，学会原谅和奉献，把自己放在一边，培育下一代。

作为一名家长，每天有两件事让我感到惊奇，一件是和女儿一起在树林里跑步，另一件是看着她睡觉。第一件事情是在游戏中分享存在和兴奋的时刻，第二件事是看着一个新的生命温柔起伏的呼吸。我不仅对如此美丽的生命充满了敬畏，也对自己对它永不止息的爱感到敬畏。

“我们都只有一天生命；记住或者被记住的人都是一样的。一切都是短暂的——记忆和记忆的对象都是如此。”——马库斯·奥勒留斯（Marcus Aurelius）

---

1. 摘自《远大前程》，主万、叶尊译，人民文学出版社，2004。
2. “scape”一词在古代有“escape”（脱逃）的意思。

第6章

地图和梦想——世界

> 你从未正确感受过这个世界，直到海水在你的血管里流动，直到你以夜空为衣，而满天的星辰点缀成你的冠冕。
>
> 托马斯·特拉赫恩
>
> 我们回归世界的方式是沿无限延伸的弯曲道路绕行。
>
> 蒂姆·鲁滨逊（Tim Robinson）
>
> 再没有家这样的地方了。我们住在那里，有你，有我。
>
> 菲利普·霍尔（Philip Hoare）

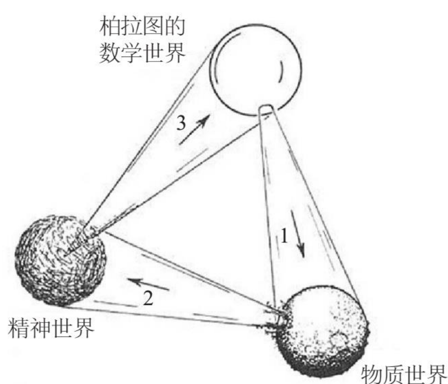
当我8岁的时候，我喜欢仔细阅读爷爷奶奶家的一本旧地图集，想象那些远远超出我自己的小世界的地方和故事。我还喜欢在后花园里玩，打开一个位于缓缓倾斜的小路上方的水龙头，看着“水蛇”从石头之间滑下。我会想象自己正俯瞰着地图上在荒野中奔流的壮丽河流，总有一天我会去那里，开启神奇的旅行。

这些幼稚的白日梦同一种强烈的渴望存在某种共通之处，这种渴望也正是古老而持久的飞行愿景的驱动力：渴望了解世界。在西伯利亚东北部的“驯鹿人”埃文人中，见习巫师通过类似猎人的训练方式来积累技能和直觉，只不过他们是在梦中毫不费力地在上空飞过，观察迁徙动物的移动。在亚马孙的亚诺马米人那里，新手会跳上树冠甚至更高的地方，在那里观察丛林里的小精灵和他们居住的地方。“我的思想在地底下，在水面下，在天空之外和最遥远的地方，遍布蔓延。”亚诺玛米老人达维·科佩纳瓦（Davi Kopenawa）说。

在前农业社会中，巫师通过类似于白日梦或清醒梦的方法来体察他们的居所。如今拥有高科技文明的我们则经常依赖地图——即图形的展示，来促进对世界上的物体、概念、条件、过程或事件的空间理解。但是地图和梦之间并没有硬性的界限，因为地图——无论它们看起来多么客观，都只是一种解释。地图一直是探索未知世界的一种方式。

地图可以是一种探究世界并表达其神奇的方式。地图本身也可以创造奇迹。学者菲利普·费希尔认为，把局部细节与宏观图景联系起来，把亲近之物同天上星体联系在一起，常常可以产生奇迹。而这正是地图所做的。即使是上网查找路线这样的日常行为，也可以让思绪飘向我们想去的任何地方，就好像拥有上帝视角一样，随心所欲地操控着路径。历史学家杰里·布罗顿（Jerry Brotton）写道："地图欺骗性的神奇之处在于，它让人们相信，就在盯着地图看的那一刻，我们脱离了引力的束缚。"

同样地，在清醒梦中，更大的世界也能以某种方式在头脑中表现出来。这类奇迹部分在于意识本身的奇迹，威廉·詹姆斯在被问到这样的问题的时候表达得很清楚："我所在的世界怎么能同时既在那里，又在我的脑海、我的经历里？"许多人认为，这个问题仍没有一个确切的答案，不过我最近听到数学物理学家罗杰·彭罗斯有一项惊人的推论。他的大意是，有三个截然不同的世界存在着，它们同样真实，但每个世界都包含着其他的世界。第一个世界是数学的世界，广阔无垠，没有边界，彭罗斯的思想源自柏拉图，他相信这样一个世界的存在。然后，彭罗斯认为，在数学世界里，有一组相对较少的方程组，可以解释所有的物理实在问题。最后，在物理实在的范围内，有一个有意识的存在和他们的体验所组成的世界。然而不知何故，这些有意识的存在（至少是对于那些足够优秀的数学家来说）能够理解数学世界。因此，每一个世界都在某种程度上被嵌套在另一个世界中，形成一种永恒的循环，就像彭罗斯设计的三角形一样，被称为"不可能的纯粹图形"。





远方之镜

地图与梦一样，可能会存在很大的谬误，但仍能带来惊人的发现。1492年，克里斯托弗·哥伦布扬帆启航，依靠的是一张古老的地图。这张地图大

大低估了地球的周长，哥伦布凭借这张地图断定他从西班牙向西航行3 700千米就能抵达中国，而实际上的距离是19 600千米。当哥伦布到达他所认为的印度时，他实际上位于现在的古巴境内。

中世纪欧洲的地图比哥伦布所用的地图更加不准确，但它们能揭示的事情比我们一开始预想的要多。我最喜欢的是赫里福德大教堂中存放的中世纪最大的世界地图，它的年代大约是在1300年——就在但丁写《神曲》的前几年。一件它的精致的现代复制品就贴在我的书桌旁的墙上。我也去“朝圣”了，去看了原版。这件文物现在已经发黄变旧，悬挂在一个昏暗的壁龛上。乍一看不是特别美丽，但它蕴含着无尽的谜题和惊喜。

在赫里福德地图上，海洋环绕着一个与我们现在截然不同的世界。按照当时的惯例，东方——太阳升起和天堂的方向在上方，耶路撒冷位于中心。在这个世界之外，是坐在审判台上的基督。在世界的内部，地图的左下方，即在中心的下方，可以辨认出欧洲和地中海的形状，只要你熟悉方位（或者把头往左转90度）。

> 赫里福德地图是平面的，但中世纪的欧洲人并不一定认为世界就是平的。在《神曲》的第三部分中，但丁把天堂和大地看作是彼此围绕着的环。物理学家卡洛·罗韦利指出，这是一个对三维球面的很好的描述，三维球面是无界空间中球面的高维类比。

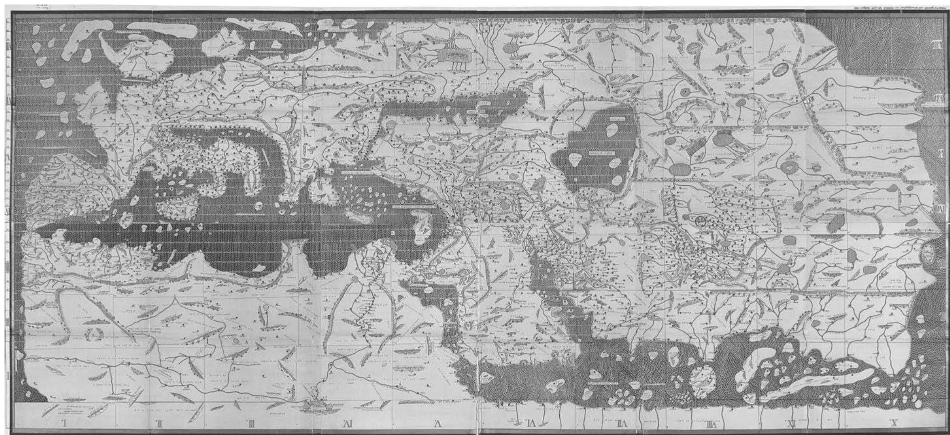
但是地图上的大部分陆地区域，特别是非洲和亚洲，被扭曲得无法辨认，其中充斥着野兽、怪物和人类的形象。地图上的一个传说解释了他们的故事。猞猁的视线可以穿过墙壁，身上私密之处还会生出珍贵的红宝石。有一种人头狮身蝎尾兽，它的脸就像男人的脸，但脸上有三排牙齿，它还拥有狮子的身体、蝎子的尾巴以及海妖歌声般的声音。还有很多半人类，比如像蝙蝠一样的帕内西，有着巨大的下垂的耳朵，它们和长着马蹄的斯波波得一样，生活在亚洲。阿格里奥法尼埃塞俄比亚人只吃黑豹和狮子的肉，他们的国王的额头中央长着一只眼睛。印度的甘金人依靠森林中的苹果气味生存，如果他们察觉到其他气味就会立即死去。阿里马斯波伊人会与狮鹫争夺钻石。属于人类但陌生而令人恐惧的人是塞西亚人：他们热爱战争，把敌人的头骨当作酒杯，饮用敌人从伤口喷涌而出的鲜血。与之相反，北方人是最快乐的种族了：因为他们喜欢和平与健康，所以他们生活中没有争吵，没有疾病，而当他们厌倦了生活的时候，他们就会找个海角跳海自尽。



赫里福德大地图

这些图像和小插图在他们的时代已属奇迹，但在现代人看来却很怪异。整体上看，这张地图是精彩迷人的，但是，它反映现实情况的忠实程度，并不比19世纪90年代生活在美国南达科他州的地平论者（即认为地球是平的）奥兰多·弗格森（Orlando Ferguson）描绘的方形静止的地球的地图高多少。赫里福德地图可以被视为中世纪的落后写照：它的创造者们毫不知晓或拒绝接受人们在古希腊罗马时期获得的来之不易的知识，而直到1154

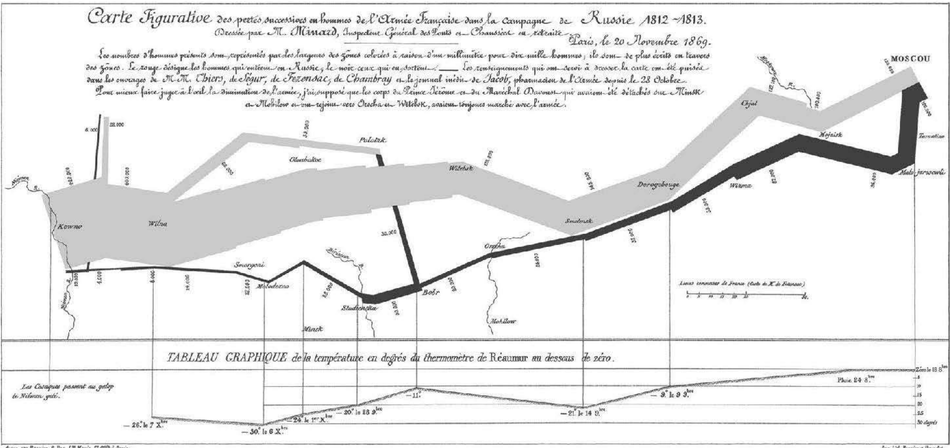
年，阿拉伯地理学家穆罕默德·伊德里西（Muhammad al-Idrisi）为他开明的诺曼君王——西西里的罗杰二世而作的《云游者的娱乐》一书，还吸收和总结了很多古希腊罗马时期的主要研究成果。这本杰作中的世界地图是伊德里西基于古希腊的原始地图创作出来的，其中地中海周边、阿拉伯半岛和大部分西亚地区的形状和大小都与我们今天的认知非常相似。



伊德里西创作的地图

但赫里福德地图也有一些方面比我们想象中的先进。杰里·布罗顿注意到，这张地图在平坦、静止的表面描绘出了第四个维度——时间。从东到西（从上到下），赫里福德地图勾画出了世界的历史，从创世与天堂开始，然后是古巴比伦王国，一直到当时画出这张地图的欧洲。赫里福德地图在某些方面可以说是如今我们认为很有价值的一类地图的前身。因为最有用、最持久的地图不仅是比例匀称、明暗效果仿佛真正地面的地图，更是那些显示了不那么明显的特质，突出了某些与陆地的可见外观或实际比例几乎没有关系的特质。例如，1815年威廉·史密斯（William Smith）的地质地图用酷似古书卷尾空白页的大理石纹的纹路描绘了英格兰、威尔士和苏格兰的一部分地区的岩层。史密斯的地图与地表能看到的景象毫无关联，却显示了陆地深处体现出的时间跨度，引发了地质学革命，帮助我们理解生命的本质和起源。其他方面的创新也进一步扩展和深化了地图表达信息的能力。例如，1869年土木工程师夏尔·约瑟夫·米纳尔（Charles Joseph Minard）制作了一张拿破仑领导的1812年俄法战争的地图，在二维平面上展示了6种类型的数据（士兵的数量、行军距离、温度、纬度和经度、行军方向以及特定日期各方的相对位置）。它鲜明地表现了战争对人类生命的罪恶破坏（包括其他事物），也展示了专题地图和数据地图在把不那么明显的信息可视化上的潜力。而根据人口或经济活动等变量来改变一个地区或国家的形状或大小的地图，也有助于我们绘制出世界另一面

的现实。本杰明·亨尼格（Benjamin Hennig）在2015年绘制的地图中扭曲了陆地的形状，根据人口的多少来分配陆地面积，得到的地图与中世纪的赫里福德大地图惊人地相似。



米纳尔制作的**1812**年俄法战争地图

赫里福德大地图给我们当代人提供的另一部分信息是，我们的世界中充满了奇怪的生物，不过与赫里福德大地图中的生物不同的是，它们是真实的。这样一个生机勃勃的世界中，充满了我们未曾了解的奇迹。让我们看看动物王国里的小例子。像树枝背角蝉这种昆虫，它的背上会长出一个类似月牙一样的东西，两头几乎紧贴到一起；马来西亚的爆炸蚁在看到威胁时会收缩它们的身体，导致体内的毒液沸腾并爆炸，令它们的敌人被毒汁浸透。至少有7种陆地蜗牛的身材小到能够穿过针眼。

另外，像赫里福德大地图那样，对我们不了解的人群进行歪曲和妖魔化的情况并不局限于中世纪。2001年12月，那是美军及其盟军进入阿富汗的第三个月，他们开始准备入侵伊拉克，当时《纽约客》杂志的封面就是一张地图，把纽约市（New York City）变为“纽约基斯坦”（New Yorkistan），将纽约市内的各个区也划分成了一块块的部落领土，其名字就像曾经中亚和西南亚殖民地地图上会看到的名字一样。曼哈顿被划分为Artsifarsis、Khouks、Bulimikhs、Psychobabylon、Moolahs和Nudniks等部分。布鲁克林区包含Fattushis、Khandibar和Fuggetabouditistan等部分，皇后区则由Veryverybad、Kvetchnya、Irate和Irant组成注（在另一个世纪、另一个背景下，安布罗斯·比耶尔斯曾说：“战争是上帝教美国人学地理的方式。”注到2017年，美国在其他十几个国家拥有800多个大型军事基地，这表明他们还没有吸取教训。）

如果赫里福德世界大地图在我们看来很粗糙，并且有误导性，那么我们应该考虑到，目前我们试图忠实描绘的地图在后人看来可能同样不值一提。我们已经有过一次忽略风险的教训了：科学家们一度忽略了南极上空平流层臭氧损耗的数据地图。大脑的地图看起来总是令人印象深刻，但仍有大量问题无法得到解释。宇宙也可以被绘制成大尺度的地图，但相关研究才刚刚开始。我们对宇宙中的大部分细节，以及可观测宇宙范围之外又有些什么近乎一无所知。就像那些创造中世纪地图的人一样，我们仍然被无知的海洋所包围。

地图和梦的起源

地图起源于何处？许多动物都有直觉性的导航能力——能看到一个别样的世界，让人类相形见绌。鲑鱼可以嗅到或尝到仅仅相差几个分子的盐度差距，从出生的河流一直游到几百英里外的大海，然后再沿着梯度回家。从昆虫到白鲸的一系列生物能够感知出地球微弱的磁场。帝王蝶能从墨西哥飞过1 500千米到落基山脉，这一旅程甚至要好几代来完成，它们利用太阳的位置来计算一天中的时间，一年中的哪一天和纬度。（这种生活方式，是在数千年间由各种力量之间的微妙的相互作用而形成，但现在濒临灭绝。）蠵龟可以沿着超过10 000千米的环形航线在海洋中航行，通过感应磁场，它们能够精确地返回到原来的位置，因为它们能识别出这部分海岸线特有的磁场特征（蠵龟也濒临灭绝）。鸲鸟能在眼睛里产生量子纠缠态，维持时间比最好的实验室系统在接近绝对零度的温度下能达到的还长，它们利用量子纠缠态来“观察”地球的磁场。北美星鸦，一种体重只有140克的鸟，脑子里保存着大约一万张精确的地图。在阿拉斯加，斑尾塍鹬刚从蛋中孵化出来，就迎着大风和飓风不停歇地飞向新西兰。

> 科学家还没弄清楚各种动物具体是如何感知地球磁场的，但在某些情况下，这可能要归功于一种“生物罗盘”蛋白质，它的中心有一根纳米级的针。

我们最早的人类祖先或许靠采摘、狩猎或者捕鱼为生。他们对植物何时何地生长，动物迁徙的地点和时间这类问题了解得越多，就越有可能生存下来。有些基因突变和习得的行为增加了他们在正确时间到达正确地点采集植物根茎和果实，或找到猎物的能力，这些能力可能最终会增加他们达到生育年龄的后代数目。人类必须了解大地，铭记并准备好迎接惊喜。同时，人类的繁衍也依赖于对已有知识的传递，使他们的同辈和后代能够创造出属于自己的认知地图。

与他人交流，传达眼前看不到的事物的位置信息，这样的能力并非人类独有。蜜蜂用摇摆舞来描述一个有价值的食物来源的方向和距离。我们祖先的寻路能力在某些方面与在森林、草原和沼泽地区迁徙的大象也没有太大区别。母象们必须记住过去的每一年里都走过哪些安全的迁徙路线，并把这种寻路能力教给小象。但在某个时间点，我们的祖先学会了一件据我们所知没有其他动物会做的事——创造可以传递关于不同距离和时间的复杂地点信息的物质符号。我们用手势、语言，以及地面、岩石上的划痕和颜料等物质符号来增强我们的能力，从而创造出第一张地图，以及新的故事和梦想。

在非洲地区，偷猎大象的活动使得象群的安全路线图毫无用处。2015年有报道称，在坦桑尼亚，大约60%的大象在距当时的5年内被屠杀，而在整个非洲大陆，每天大约有100头大象被杀。有证据表明一些象群已经知道，当它们进入博茨瓦纳、纳米比亚和乌干达等国家时，它们会相对安全。但是，以前被认为是安全避难所的加蓬也被破坏了，2004至2014年间，共有25 000头，约等于80%的大象被捕杀。

我们不太可能知道人类第一次从物质对象中创造出符号是什么时候。将抽象的地位与自然界存在的物体联系起来的能力可能出现得比智人还要早。有迹象显示，在300万年前，南非的一个古人发现了一颗被风化的红色的玉石，它看起来像一张脸，于是他或她携带着这颗今天被称为“马卡潘斯加石”的东西回到几千米以外的家中。2015年，也是在南非，一项非凡的发现表明，纳莱蒂人（*Homo naledi*，解剖学表明他们是现代人类的一个小而远的表亲）会排除万难进入山洞，只为安葬死者。这意味着纳莱蒂人所处的文化已经具有象征性思维能力。

米开朗琪罗曾说过，他是先在大理石中看到了天使，然后才通过雕刻将天使释放了出来。早期的燧石匠也是某一天在燧石中看到了它作为工具的用途，并把它凿开，把工具释放了出来。研究人员最近发现了一把10万年前的阿舍利斧头，它的形状是精心打造而成的，我们能够看到它的中心有一块精致的化石贝壳。

大约在30万年前，人类就制造出了几乎完全对称的原始斧头，制造的精心程度让考古学家认为它们远远不是纯出于功利目的制作出来的。同样令人惊讶的是2016年科学家在法国的一个洞穴深处的发现，其惊人程度不亚于纳莱蒂人的发现：大约在176 000年前，尼安德特人已经开始折断钟乳石，把它们砌成半圆形的墙，并在里面生火。没有人知道他们为什么这么

做，但象征性或仪式性的行为一定是一部分原因。在南非南部海岸线上可以追溯到7万～10万年前的布隆伯斯洞穴里的发现表明，解剖学意义上的现代人已经开始习惯性地装饰自己了，那里有动物骨骼做的画笔和调色板：他们将压成粉末的红赭石、骨髓和木炭放进鲍鱼壳里，与水混合，形成五颜六色的糊状物。这个洞穴里还有一块距今75 000年历史的赭石板，上面刻有几何图案，还有钻了洞的、可以做成串珠一样的装饰品的蜗牛壳。尽管关于早期人类活动的证据还有许多不确定的因素（在我写作这本书时，纳莱蒂人安葬死者的遗址年代尚不清楚），但毫无疑问的是，原始人已经开始注重仪式和审美。

纳莱蒂人与南方古猿相似（南方古猿是古老的直立猿人，它们早于人属），但也有现代人类的特征。纳莱蒂人的头骨只有我们的一半大小，但它们的大脑中已经有了与现代人类相似的额叶，额叶与语言和共情等更高的情感有关。在当地的索托语中，“纳莱蒂”意为“星星”。纳莱蒂人的遗骸于2013年首次在南非的“迪纳莱蒂”（意为“星之室”）的洞穴被发现，他们生活在20万～30万年前。

星轨

已知最早的类似地图的东西，描绘的是现在捷克共和国内的巴甫洛夫地区的山、河、山谷和路线，在一个约公元前25000年的洞穴壁画中被发现。西班牙纳瓦雷的一个公元前14000年的洞穴里的一大块抛光砂岩也有类似的特征，上面还有动物的蚀刻画。但是一些现存的最古老的地图可能是关于星星的。例如，在法国拉斯科的洞穴墙壁上画的点，大约创作于公元前16500年，描绘了织女星、天津四、牵牛星和昴宿星团的图案；而在西班牙的卡斯蒂略洞穴里，有一张绘于公元前12000年左右的点图，研究人员认为它描绘的是北冕座。

绘制恒星图是有充分理由的。虽然恒星会在夜间旋转，并随着季节的变化来回摆动，但就像人类肉眼所观察到的那样，恒星之间的相对位置是固定的，并且每年都要经历相同的上升周期。纳瓦霍人的一个创世故事可能是对一种古老观念的较新的表达：“当所有的星星都准备好放在天空中时，第一位女性说：我将（在它们上面）写下那些永远统治人类的法律。这些法律不能写在水上，因为水变化多端，也不能写在沙子里，因为沙会被风抹蚀。但如果将它们写在星星上，它们就能一直被阅读和铭记。”

一些地图试图描绘在梦中发现的地方，而不是那些在土地上或天空中能观察到的地方。举个例子，桑人（San），又称布须曼人（Bushman），他

们在非洲南部生活了至少几万年，在19世纪到20世纪几乎灭绝。根据人类学家戴维·刘易斯–威廉斯（David Lewis-Williams）的说法，桑人的岩石艺术，被称为“林顿石板”（Linton panel），描绘了处于一种恍惚状态的巫师。他说，桑人巫师的这类经历可以类比为沉在水中的场景，所以我们看到石板上画着被鳗鱼等鱼环绕的人像。这块岩石上还刻画了穿过这片水之梦境的路径。刘易斯–威廉斯说，现存的桑人巫师称他们也可以看到明亮的线条或者是“光的线”，他们可以沿着这些线条行走或滑行。他们也把这些线当作绳索，当它们上升到天空中的灵境时，桑人就能抓住它们并向上攀爬。因此，石板上展现出来的可能是一种灵性天空地图。

这种关系可能并不总是和谐的。人类大约在5万年前到达澳大利亚。在之后的几千年里，有90%以上的大型哺乳动物灭绝。可能是气候变化和人类行为的结合，如大规模火灾的发生，导致了物种的灭绝。

在澳大利亚原住民的信仰中，每个人都是一种有知觉的风景的表达。正如人类学家韦罗妮卡·斯特朗（Veronica Strang）所说，你的灵魂从一个特定的地方，比如一个水潭中“跳出来”，使你母亲的子宫里的胎儿活跃起来（祖先们通过一些征兆，比如某声奇怪的鸟鸣，暗示你的父母这一讯息）。你成长为一个拥有你家族财产权利的亲属网络的一部分，你不能与你的家分开，因为你在精神上和物质上都是由它组成的，而你的职责就是在某些基本固定的血族关系中重新体验祖先的生活。当你死后，你的灵魂将颂唱着回归它位于大地上的家园。

澳大利亚原住民对地图的使用与欧洲人的理解不同，他们使用的是舞蹈和歌声——用诗人莱斯·默里的话说，是“一幅巨大的诗歌地图”。这张“地图”教会他们如何在大地上行走，掌握大自然的特征，并成为一名成功的狩猎采集者。这种诗歌地图还教授法律，以及对土地本身及其中除人类之外的其他居住者的义务。他们偶尔会在岩石、树皮和其他材料上画出一些地方的故事和图画，但它们并不是地形意义上的地图。更确切地说，这是梦里得来的对关系和生命的表达。例如，在西部沙漠中，在一个叫作Tjukurrpa的梦之地图中，原住民的祖先留下了他们的歌曲、仪式设计和道德教训供后代学习。通常，这些地图中画出的祖先的行为——充满了嫉妒、自私、暴力，而且破坏环境——显示了人们不应该做的事情，他们把提醒嵌入岩石和地表的一些特征中。

黄金时代，又称“梦幻时光”（Dreamtime），是多种澳大利亚原住民神话的总称。这些不同的故事讲述他们祖先的精神如何穿越大地，创造了河流、溪流、水潭、岩石、植物、动物、人类和圣地。

澳大利亚原住民的梦之地图会延伸到天空中。在Tjukurrpa地图中，七姐妹为了逃离不友善的目光，跑到天堂避难，成为我们所知道的昴宿星团。对于北部地区阿纳姆地的雍古族人而言，会有一艘独木舟将死者带到巴拉尔库（Baralku），那是一个位于天空中的灵岛，可以看到他们的营火在银河的岸边燃烧。独木舟以流星的形式被送回地球，让地球上活着的人知道自己所爱的人已安全抵达精神之地。

希腊神话中七姐妹的故事可能是独立创作出来的，只是出于巧合而与澳大利亚原住民传说相似，但澳大利亚和欧洲的神话传说的版本来自同一个故事也不是不可能的。或许这个故事伴随着现代人类在7万年前离开非洲，先向东再向西，开始了繁衍上万年的文明。

但是和其他原住民一样，澳大利亚原住民的传统同样认识到，星星在空间和时间上可以作为一种方向的定位。西部沙漠的民族使用昴宿星团在夜间导航，将5月昴宿星团在黎明升起的时候定为冬季的开始。他们并非唯一以昴宿星团导航的民族。昴宿星团是一个十分特别的参照点——它们内部星星的距离比组成其他星座的星星距离要紧密得多，而且由于它们总是在每年的同一时间从北半球和南半球的地平线上升起，它们被视为时间的预兆和标志。在安第斯山的文化中，它们与丰收有关，因为它们每年在收获季节出现。北非的柏柏尔人注意到，在炎热的季节和寒冷的雨季，昴宿星团分别位于天空的西部和东部。对于北美的黑足部印第安人，昴宿星团的位置是告诉他们该准备前往水牛狩猎场了的信号。新墨西哥州的祖尼人则称其为种子之星，因为每年春天它们在傍晚的天空中消失的时候，都预示着播种季节的到来。在史前欧洲和古代文明中，昴宿星团也有特殊的意义。在拉斯科洞穴遗址中，一行点被认为代表了月相变化，4个点代表一个月，从昴宿星团在冬季首次升起的时候开始，沿着这条线数13个点，就到了马怀孕的时间，那个时间非常适合狩猎。在德国的萨克森–安哈尔特地区发现的约公元前1600年的内布拉星象盘是一个铜和金铸成的盘，盘上描绘了太阳、满月、新月和一个恒星团，这个星团就是昴宿星团。在古希腊，昴宿星团第一次出现在日出前的清晨天空，则意味着地中海航行安全季节的到来。人们认为，昴宿星团这个词本身来源于古希腊的航海术语。

昴宿星团的恒星距地球约430光年，是在1亿年前从同一团气体和尘埃中诞生的，现在它们仍然通过引力紧密地结合在一起。其中只有六七个星星肉眼可见，但星团包含数百颗恒星，其中许多恒星都比太阳亮数百倍。

不同文明的航海家都从星星身上得到了启示。广阔的太平洋带来的挑战比

地中海大得多，早期的波利尼西亚航海家开发了非凡的导航技术来帮助他们导航。在白天，他们会观察远处的云，这些云可能预示着地平线另一边岛屿的存在，他们还会观察鸟类的飞行方向以及海浪的方向与模式，后者可能被遥远岛屿的邻近区域所折射。他们制造的“木棍图”，即用贝壳或石头系在一张网上形成的来表示海浪方向与模式的图，在西方人眼中类似于地图。在夜间航行时，他们也学会了辨认星星。航海家会记住在特定的岛屿间航行时可以参照的星星的序列。当一颗星星从地平线上下落时，人们就可以寻找下一颗星星。这些“星路”会指引人们穿越黑夜。由于每颗星星都在不同的地方升起和落下，地平线被分成了一种“星星组成的罗盘”。

在陆地上，在没有固定的标记或特征的情况下，例如在白茫茫一片的暴风雪中，人们总是会在一个地方打转。没有人知道为什么会这样，但认识到问题之后，在开阔地带探险时，长途旅行者们会做很多标记来引导之后的探险者。因纽特人会用一种石堆或石头堆成的人来表示“有人来过这里”或“你走对路了”。可在海上，这种方法就没有用了，因为海流和风是不可预知、难以阅读的，天空又是模糊一片，所以要采取其他策略。其中一个方案就是火。我们可以推测，山顶的灯塔在很早的时候就出现了。第一个有记录的灯塔是亚历山大的法罗斯岛灯塔，建于公元前280—前247年。它有将近140米高，比纽约市的熨斗大厦还要高出一半，在离海岸50千米处都可见。在某种程度上，它就是海上航行人员的因纽特石堆，是一颗“人造星星”。白天，有一面镜子从它的顶点反射太阳光；晚上，塔顶会点燃一团火以引导船只。

直到大约一个世纪以前，格陵兰岛的猎人还在用浮木制作地图。

绘制宇宙

在古代，测量和绘制世界地图有重要的经济和军事目的，现在也是如此。建造灯塔的希腊亚历山大文明因暴力征服而声名显赫。它想要展示权力和威望，并主导贸易路线，以确保获得包括奴隶在内的各种资源。在本书对奇迹的描述中，我们绝不能忘记这些目的。但是，对测量和绘图的改进并非仅仅为了统治和剥削，也有时是受单纯的好奇心驱使。而古希腊人，或许比任何早于他们的文明更想要了解这个世界。

如果有兴趣了解一个有启发性的解释，请参见安德罗·林克莱特（Andro Linklater）的《世界土地所有制变迁史》。

这种好奇的文化传统至少可以追溯到公元前6世纪，当时的哲学家阿那克西曼德（Anaximander）向他的希腊同胞们推广了圭表，即一种可以在日晷上精确计时的指针，以及世界地图。虽然他推荐的地图可能参照了巴比伦的模式，但也具有希腊文化的特质，它的视角以希腊的圣地特尔斐或阿那克西曼德的家乡米利都为中心，欧洲、亚洲和非洲大陆聚集在东地中海周围，它描绘的海陆地形基本与近2 000年后的赫里福德地图一样。

“所以他们告诉我们，有一个男人问阿那克萨哥拉，问他为什么一个人要选择出生，他的回答是‘为了看天堂和整个宇宙的秩序’。”——亚里士多德

但对阿那克西曼德来说，与测量、表达时间和空间同样重要的是在更大的背景下定位地球。他认为，一切最终都是从阿派朗（*apeiron*），即一个无限、无界的整体中产生的，且最终会回归于此。他写道：“所有的东西都是从彼此中产生的，又根据需要，彼此消失……与时间的顺序一致。”他认为，地球是一个自由飘浮的球体，在我们所能看到的一切事物的中心，所有的天体都在不同的距离上绕着它旋转。这个认识据我们所知，是前所未有的，并且为阿那克西曼德赢得了“宇宙学之父”的称号。但它也有缺点。虽然阿那克西曼德正确地推测出太阳比火星和金星等行星要大得多，而且离地球更远，但他以为太阳比恒星离地球更远。

其他文化也设想过地球是一个飘浮在太空中的球体，但很少有人认为其他天体也是球体。

在阿那克西曼德去世300多年后，两组新的计算结果准确（虽然一开始还没达到精确）地估计了天体的大小和距离。第一个问题与地球本身的大小有关。当人们发明了高桅帆船时，敏锐的观察者发现，这些船远离观察者时，它们的船体会先于船帆沉到地平线下，这表明海洋表面是弯曲的。如果你知道桅杆的高度和船走了多远（这一项测量起来更为困难），你就可以估算出曲面的曲率，乃至地球的大小。但是这样的计算很难准确地进行，在公元前240年，亚历山大图书馆馆长、地理学家锡兰尼的埃拉托斯特尼（Eratosthenes of Cyrene）提出了一个更好的方法，他根据亚历山大与距离其5 000斯塔德的赛伊尼（今埃及阿斯旺）两地正午时分影子长度的差别计算出地球的周长，与实际值的误差仅为2%（哥伦布没有采用这个结果，而是采用了另一个错误的结果）。

斯塔德是古希腊的测量单位，1斯塔德相当于一段略小于200米或约

等于1弗隆的距离。关于埃拉托斯提尼选取的距离有多长尚有疑问，但他的方法是正确的。

第二个问题是计算月球和太阳的大小以及它们与地球的距离。与埃拉托斯特尼同时代但年长些的学者，萨摩斯的阿利斯塔克（Aristarchus of Samos），尝试解决这两个问题。他观察到地球在月食期间投射在月球上的弯曲的阴影显示出地球是一个比月球大几倍的球体，由此他估计出了月球的大小。他还观察到满月覆盖了大约0.5度的天空，并且知道当一个物体占了0.5度时，它与我们的距离大约是它的大小的115倍。由此，他计算出了月亮到地球的距离。

月球直径为3 474千米，与我们的平均距离为382 500千米，大约是地球直径的30倍（地球直径约为12 742千米）。如果要做一个成比例的模型，用篮球表示地球的大小，那么月球可以看作是一个距离地球7.2米远的网球。

由此，阿利斯塔克意识到，算出太阳的大小和距离只是一个简单的三角问题。当我们正好看到月球表面的一半时，太阳、月亮和地球三点间的连线构成了一个直角三角形。有了直角和三角形的一边的长度（在这个问题里，是地球和月球之间的距离），他只需要另一个角度就能计算出所有的距离了。那时，他估计月亮和太阳的夹角为87度，他计算出太阳与地球的距离是月亮与地球距离的20倍。他认为，由于太阳也覆盖了0.5度的天空，它的直径必须是月球的20倍，是地球的5倍。问题解决了！然而，他算错了。我们现在知道，阿利斯塔克错误地判断了月亮和太阳之间的夹角，结果估算出的太阳的距离只有实际距离的约二十分之一。然而他的逻辑是正确的，这使他迈出了非凡的一步：他说，一个较大的天体绕着一个较小的天体运行是没有意义的，所以地球必须绕着太阳转。

太阳的直径超过地球的100倍，它的体积超过地球的100万倍。如果太阳是一个篮球，那么地球就只有一粒豌豆那么大。

宇宙学家马克斯·泰格马克（Max Tegmark）称阿利斯塔克的计算为“人类的想象力终于离开地面开始征服太空的时刻”。无论你如何看待这一论断，它肯定来自一个愿意精确测量天空和地球的精确性的文明。公元前200年左右，工匠们就制作出了模拟宇宙的“计算机”。例如，在安提凯希拉这个古希腊装置中，一个手摇曲柄可以转动大约30个互锁的齿轮，同时计算出太阳和月亮的位置、月亮的相位、月食、日历周期和行星的位置。

虽然这类机械的制作知识如今已经失传，但制造它们的思想最终带来了现代的现实数学化——我们日益沉浸在这个计算的世界中。

然而，阿利斯塔克认为地球绕着太阳转的观点却没有被广泛接受，这不仅仅是因为它违反了每一个仰望天空的人的直觉。公元2世纪，地理学家和天文学家克劳迪乌斯·托勒密拒斥这一观点，理由是恒星似乎是静止不动的。他推断，如果地球真的在移动的话，恒星的相对位置就会发生变化，就像在树林里当你走近或走过一棵棵树的时候，看到的树木相对位置也在移动一样。阿利斯塔克的观点中这一明显的缺陷是它不被人接受的主要原因，而在16世纪早期哥白尼提出了日心说宇宙模型之后，自然哲学家们才开始认真对待它。

1687年，艾萨克·牛顿提出了这个谜题的解答：为什么地球在移动，星星似乎静止不动。他认为，首先，［正如哲学家焦尔达诺·布鲁诺（Giordano Bruno）在100年前凭借直觉提出的观点］其他恒星也是像太阳一样的天体，它们看起来比太阳暗淡得多，只是因为它们离我们很远。其次，（根据他之前提出的平方反比定律）物体的亮度与距离的平方成反比。然后，他根据夜空中最亮的恒星——天狼星与土星（其与地球的距离是已知的，其反射太阳光的亮度是牛顿认为能确定的）一样明亮这一点，计算出天狼星离地球的距离大约是日地距离的80万倍，约为12.6光年。这一估计几乎偏差了二分之一：天狼星与地球的实际距离约为8.6光年（81.5万亿千米）。但它的数量级是正确的，而且恒星的表观运动无法被轻易探测到是因为它们离我们极为遥远，这一想法开始显得更加可信。

天文学家弗里德里希·贝塞尔（Friedrich Bessel）于1838年解决了这一问题。自牛顿时代以来，望远镜经过一百多年已经有了很大的改进。贝塞尔能够测量一颗被称为天鹅座61的恒星相对于其他恒星的微小的表观移动，在对它进行了相隔6个月的两次观测后（地球刚好运动到太阳的另一边），贝塞尔准确地计算出，天鹅座61距离地球11光年远。这个原理同样就像在树林里散步一样。这就是所谓的视差，你可以简单地向前伸直手臂，竖起一根拇指来演示，交替地闭上左眼和右眼，看看它相对于背景的位置是如何跳跃的。我们可以把贝塞尔的望远镜类比成地球在太阳一侧的两眼之一，而另一只眼睛则是6个月后地球绕着另一边转的时候。

宇宙可能比我们能看到的部分大得多的想法并不新鲜。阿那克西曼德曾设想过宇宙是无边无际的。一个多世纪后，哲学家德谟克利特（**Democritus**）认为，原子的永无休止的舞蹈必然会创造无数其他的世界和其他生命。印度的宇宙论也长期认为宇宙是以几十亿年为周期，不断被创造和毁灭的，而代表无数宇宙的“Bhāgavata Purāna”一词，是在公元6—10世纪之间的某个时候出现的。在12世纪，法克尔丁·拉齐（Fakhr al-Din al-Razi）描写了成千上万的世界，后来，焦尔达诺·布鲁诺在1600年因

类似的观点而被处以火刑。但观测数据（不管是支持还是反驳这些猜测的）直到1610年才出现：伽利略通过望远镜观测银河系，并第一次看到它是由无数恒星组成的。牛顿和贝塞尔所做的贡献不仅提供了令人信服的证据，证明宇宙比太阳系大得多，也开始把其他恒星的距离与实际的数字联系起来。然而，他们没有解决的问题是，在这个更大的范围内是否存在规律或结构，如果有的话，规律是什么。

德谟克利特（约公元前460—约前370）的哲学思想只存留于他人简短的引语中。他的60多部作品，如今只剩下标题，其他内容都已经佚失。他的著作包括：《宇宙大系统》《宇宙小系统》《论自然》《论人性》《论智力》《论感官》《论灵魂》《论味道》《论颜色》《论不同原子的运动》《论气味》《论火及其成因》《论声学现象的成因》《论动物》《天空的描述》《论地理》《几何现实》《数学与数字》《节奏与和谐》《论光线》《论音乐》《论绘画》《环游世界的海洋》《论道德》以及《论幸福》。

宇宙中的岛屿

在一个雾蒙蒙的冬天的早晨，我开车穿过英格兰北部达勒姆附近的一个村庄，当时正值交通高峰时期。我发现我与同行的大学天文学教授完全迷路了。我们那天一直在一座矮山上寻找一座古怪的石头建筑物。那是由数学家和仪器制造者托马斯·赖特（Thomas Wright）建造的，他在1750年提出了我们现在所说的星系的存在。

在经过了大约十次错误的转弯之后，我们终于开车到了这个地方——一座小的圆柱形的塔前，几乎是意外碰上的。我刚从车里爬出来，鞋子就陷进了冰冷的泥土里。我告诉自己，这无关紧要。事实上，这冰冷的泥和找不到路的混乱像是一场洗礼，反而使我们更能欣赏18世纪最引人注目的一次想象的飞跃，赖特的《原始理论或新宇宙假说》中的新地图和图表展示了这一点。而这本书我前几天刚刚在温暖、干燥的牛津图书馆花了好几个小时仔细阅读过。

托马斯·赖特研究的概念过于广大，相对而言，他能够依赖的工具则十分有限。在他那个时代，以及此后的一百年里，都没有望远镜能越过遥远的距离拍摄出其他星系的清晰图像。但他的推理并未受到观测条件的限制。首先，他提出，在引力的影响下，恒星相互之间会发生非常缓慢的相对移动。（他说，这或许可以通过观察昴宿星团的恒星在10年或20年的时间里的运动来进行测试，这些恒星彼此间的距离与其他明亮的恒星相比较

小）他认为，如果是这样的话，这种运动会使很多大的恒星群围绕不同的质量中心聚集在一起，就像太阳系中小得多的天体因为太阳的引力聚集在一起运动一样。麦哲伦星云——只有在南半球才能看到的一团模糊不清的光，自从天文学家们在16世纪第一次看到它（这引起了吉罗拉莫·卡尔达诺的兴趣）之后，它就一直困扰着欧洲的天文学家。赖特认为，麦哲伦星云就是这样的恒星群。

与托马斯·赖特同时代的牧师约翰·米歇尔（John Michell）计算出，纯凭巧合的话，昴宿星团的恒星之间的距离如此接近的可能性大约为五十万分之一。因此，他得出结论说，它们可能受到了引力的影响。后来，在进一步思考了引力对恒星的影响之后，米歇尔在1783年预言了黑洞的存在，他称之为“黑星”。

赖特将庞大的恒星群的总体分布分为两种模式。在第一种情况下，外围的恒星围绕着一个大的中心群旋转，就像土星环周围的光环一样，只是尺度比土星环大得多。第二种情况下，恒星围绕一个共同的中心移动，但不是在同一平面上。相反，它们运行的轨道可以取任意的角度，就像太阳系里那些在几百年的时间里以倾斜的轨道环绕太阳运动的彗星一样。彗星因其这种运动形成了同心的球壳结构，就像奥尔特云——太阳系最外层大气边缘的一层尘埃那样。

在我们星系中环绕其他恒星运行的行星也有光环。行星J1407b周围的环大约有1.2亿千米，是土星环宽度的200多倍。

这个想法在许多细节上是错误的。例如，盘状星系只有旋臂，而不是同心环，而且虽然近球形星系确实存在，但它们的恒星并没有像赖特所设想的那样移动。但他的推理是正确的。而且他用32张地图和图表描绘了星系宇宙的景象，可以称得上是“无数个天文大厦”，令人叹为观止。它的美丽和逻辑吸引了伊曼纽尔·康德的注意，但许多天文学家对其印象不深。一方面，首先，他们无法确定赖特认为是遥远的恒星群的斑点是银河系外的物体，还是银河系内的星云（也就是尘埃组成的云）。这个问题直到20世纪初才解决。

有一类叫作造父变星的恒星，不同于约翰·济慈赞颂的那种亮度恒常的明星注，它们的亮度会以从数天至数月不等的时间为周期变化。1912年，天文学家亨丽埃塔·斯旺·莱维特（Henrietta Swan Leavitt）发现，造父变星的亮度变化周期和它们的最大亮度之间有一种规律的和可预测的关系，亮

度峰值最大的要花最长的时间达到这个亮度。这开辟了一条测量宇宙的新途径。如果可以使用贝塞尔首创的视差法计算出附近的造父变星与我们的距离，那么可以推断出亮度变化周期与这颗星相同的其他造父变星的距离，因为如果它们看起来更暗，那一定是因为它们离得更远，它们的亮度随着距离的平方而减小。

一些造父变星的亮度比太阳高10万倍，因此可以在很远的距离看到。20世纪20年代，天文学家埃德温·哈勃（Edwin Hubble）观察了当时被称为仙女座星云的区域中的数个造父变星，并利用莱维特等人的发现计算出它们距离地球大约有90万光年远。在他发表这一结果的1925年，这个距离比以前任何人测量过的都要远。这也许是人类历史上视野扩展得最大的一次。

哈勃第一次估算的结果实际上还不到真实数字的一半，随后他又有了更为惊人的发现。我们现在知道，仙女星系是离我们最近的大星系，它是一个距离银河系大约250万光年（2.4×10^{31}千米）的由万亿恒星组成的岛屿。而仙女星系和我们所在的银河系都是一个由大约54个星系组成的星系群中的部分，其中包括麦哲伦星云，这个星系群就是所谓的本星系群。哈勃还观察到本星系群之外星系的光都往红色方向移动，并在1929年得出了一个正确结论：所有的星系都在远离我们，星系越远，它远离我们的速度就越快。

> 当一个光源高速远离地球时，它发出的光的表观颜色就会向光谱的红端移动。这是多普勒效应的一个例子，在车辆接近、经过和远去的过程中，鸣笛声的音高听起来会变化，也是多普勒效应导致的。

这些发现有助于解决宇宙学中的一个基本问题。爱因斯坦1915年发表的广义相对论中的场方程似乎预测宇宙是不稳定的，其中星系、恒星和行星都会向内坍缩。爱因斯坦曾试图通过增加一种他称为宇宙学常数的斥力来解决这个问题。但20世纪20年代，宇宙学家亚历山大·弗里德曼（Alexander Friedmann）和物理学家（及牧师）乔治·勒梅特（Georges Lemaître）独立地找出了爱因斯坦方程的另外的解，而哈勃的观测结果与他们的解相符合，也和20世纪40年代由宇宙学家拉尔夫·阿尔弗（Ralph Alpher）提出的早期宇宙模型更加一致。所有这些证据都表明，宇宙经历过一场“大爆炸”，即宇宙中的所有物质和能量都从一个致密的中心爆炸出来，并从那以后不断膨胀。

随后的研究，特别是1964年宇宙微波背景——宇宙大爆炸的回声的发现，给了我们之前几代人都不曾获得的知识：一个一致（虽然不完整）的理

论，阐释了一切都是如何产生的。物理学家和科普节目制作人布赖恩·考克斯（Brian Cox）称之为“科学创世故事”。我们现在知道，宇宙有开端，而如果我们的宇宙的命运是热寂，那它最终还将有个结局。用勒梅特的话说：“我们站在一片冷却的煤渣上，见证太阳逐渐暗淡下来，试图回忆起世界起源时那已经消逝的光辉。”而我们的“煤渣”——地球，是亿万个普通恒星周围的一个世界，它所身处的银河也只是数万亿个星系中普普通通的一个。然而，新恒星的形成还将持续1万亿~100万亿年。因此，你可没有理由不填写你的纳税申报单……除非你一直等到公元10^{100}年，到了那个时候，可观测宇宙的体积会远大于今天，其中物质的平均密度也会降低到每立方米只包含一个电子或正电子（现在的密度大约是每立方米几个氢原子）。

不过在这之前，宇宙仍然是极为壮观的。一部由卡尔·萨根于1994年创作剧本，埃里克·韦恩奎斯特（Erik Wernquist）于2014年拍摄的短片《漫游者》（*Wanderer*）中展现了如果太空旅行（无论是亲自还是虚拟的）得以实现的话，我们穿越太阳系时会看到什么。我们可能在木星一颗卫星的表面近距离地观赏木星表面的云，同时，另一颗卫星则从我们的头顶飞过。我们可以飘浮在土星环之间，并在它明亮的卫星土卫二上喷发出来的，巨大的间歇泉之间穿梭。我们可能会飞越土卫六的甲烷湖，或者从天王星最小的卫星天卫五的10千米高的悬崖上跳下。还有更多的奇迹没有出现在电影中。在水星的某些点上，一个观察者能够看到太阳几乎上升到距离顶点一半的高度，然后反向下落，然后再上升，最后下落——这些都发生在一天内。在木星的卫星木卫四上，它的冰尖直通夜空，令人惊叹。在土星的北极则有一场巨大的六角形风暴。土卫八呈现出两种迥异的色彩，有一条像腰带一样的山脉坐落于赤道附近；而不对称的小卫星土卫十八就像一粒胖胖的小馄饨或一枚歪斜的飞碟。双小行星赫克托呈哑铃形，类似于两颗没剥皮的花生。

> 大约在到达近日点（在水星的轨道上离太阳最近的位置）的4天前，水星的轨道角速度正好等于它的自转角速度，使太阳的视运动（即看起来的运动）停止；在近日点，水星的轨道角速度超过了自转角速度，因此，太阳似乎朝着相反的方向移动。在离开近日点4天后，太阳恢复正常的视运动。

在过去的几代人中，人们看到天上的大多数东西都不会改变形状。月亮和一些彗星则是明显的例外。直到最近，在地外望远镜的帮助下，我们才看到了太阳大气层的实时动态，以及木星表面翻滚的云层。但是，在时间和空间的更大尺度上变化的图像，例如恒星的爆炸和星系的演化和分布，仍然需要借助推理和创造力——想象中的地图，而不是直接的观察。例如，

你可以通过计算机模拟画面观看银河系和仙女星系之间的相遇，这将在大约40亿年后发生。一开始，两个星系像两名跳林迪舞的舞者一样，相互围绕着跳一两下，最后终于融合在了一起。（几乎不会有恒星相互碰撞，因为即使是在两个星系合并区域相对致密的地方，恒星之间的距离仍然是巨大的。但可能会有几十亿颗恒星——其中可能包括我们的太阳——会被潮汐力从新的超级星系抛出，形成恒星流，就像我们今天在鲸鱼星系NGC4631的边缘上看到的一样。）类似地，我们对遥远的恒星、星云和超新星的观察至今仍是静态的，只有几个例外。像托马斯·万茨（Thomas Vanz）2016年的电影《新星》（*Novae*）中这样的模拟，无论多么引人注目，仍然只是模拟而已。

但这种情况可能会改变。当我写这段文字的初稿时，我写道，在几年内，空间望远镜可能会显示出围绕其他恒星的行星的实际轨道，甚至是围绕这些行星的卫星。但我在2017年初最后一次检查书稿的时候，天文学家们发布了一个3秒钟的短片，展示了7年来对围绕恒星HR 8799的4颗行星的直接观测结果。在深蓝色的背景上，行星围绕着中心的一颗恒星（这颗恒星在图像中被遮盖住了），这些行星是比木星大的气态巨行星，它们发出光芒，就像是发光的浮游生物在表盘上逆时针旋转。



UGC 1810（上）和**UGC 1813**（下），仙女座中的两个星系，距离地球大约**3**亿光年，可能已经互相穿过并继续产生了相互的潮汐拉力，导致了前者的旋涡形状发生扭曲，后者新形成了一大串的恒星

截至2017年初，我所知道的关于深空的实际演变的电影，是1572年由天文学家第谷·布拉赫（Tycho Brahe）第一次观察到的超新星残骸的持续爆炸。看着一颗超新星实时爆炸就像看着地衣生长一样慢，只盯着它的话你其实什么也看不到。但这个于2016年中公布的视频，将2000年至2015年期间拍摄的一系列静止图像，在大约1秒半的时间里连续播放出来。这一结果就像一棵缓缓膨胀的半透明的抱子甘蓝苗，过程非常短，你眨一下眼睛几乎就错过了。但这一秒半（以及拍摄行星在HR 8799的轨道上运行的3秒钟的视频）对我来说就和第一部真正的电影——1888年的《朗德海花

园场景》一样意义重大。《朗德海花园场景》只有两秒钟，它用几张生涩的画面首次再现了人类的运动。正如哲学家和牧师德日进（Teilhard de Chardin）所写的那样："我们的生活被比我们古老得多的思想和物体所包围，同时，一切都在运动中。"

哥白尼式的回归

在道格拉斯·亚当斯（Douglas Adams）的幽默小说中，一种叫作"全透视涡流"的装置可以让你看到无限的创造，让你看到自己是多么渺小。这个装置最初由一位哲学家为激怒他的妻子而发明的，它被认为是有史以来最可怕的刑具。但这对我来说并不坏。当然，任何人都很容易被大量的输入信息所淹没；但在我们的感觉和认知能够应付印象流的情况下，拥有一张能让我们在浩瀚的整体中找到自己的精神地图还是相当不错的。在帕特里西奥·古斯曼（Patricio Guzmán）2010年的纪录片《故乡之光》中，一位名叫路易斯·恩里克斯（Luís Henríquez）的受访者曾经被囚于智利阿塔卡马沙漠中皮诺切特独裁政权建立的查卡布科集中营。他说，在狱中，一位狱友给他们上的天文学课程帮助他和其他人在条件恶劣的环境中，保有了一些内在的自由。

佛教、苏非派、基督教神秘主义和其他传统宗教都喜欢将无限的空间作为现实的奇妙的基础。并不属于宗教组织，但深刻关注着生机盎然的地球的空想家与作家也是如此。"时间只是一条溪流，一个钓鱼的地方，"亨利·戴维·梭罗写道，"我在这里喝水；但当我喝水的时候，我看到了沙质的底部，发现了它有多浅。它的稀薄的水流将消失，但永恒依然存在。我想喝更深处的水；我想在天空中钓鱼，天空的底部满是星星做的'卵石'。"理查德·杰弗里斯写他躺在树林中的一条小路上，仰望星空："显然，我真的是在星星中间。它们不是在上面，也不是在四周，我就是在它们中间。"奥拉夫·斯特普尔顿（Olaf Stapledon）在北半球观察了恒星间相距很近的昴宿星团和星座后，他在发表于1937年的科幻小说《造星人》（*Star Maker*）中写了一位主人公，想象着自己从一个透明的地球向下看地球另一侧的星星，仿佛它们是湖底的鱼。

小说家易卜拉欣·科尼（Ibrahim Al-Koni）说："在沙漠中，我们处于生死之间。这实际上是一种治疗方法。因为只有在沙漠中，我们才可以拜访死亡，然后回到生机勃勃的土地上。"我们对太空的想象也是出于同样的道理，因为据我们所知太空中条件严酷、寸草不生。

记者李·比林斯（Lee Billings）长期跟踪报道研究人员在宇宙的其他地方寻找生命的工作，但他后来将视线转回地球，愈加意识到地球万物是多么奇妙，多么值得我们关注和关心。

我认为应该给比林斯的转变（或回归）取个名字。我们发现地球是一个小小的行星，围绕着一颗普通恒星运行，而这颗普通恒星也只是位于万亿个星系中一个普通星系的边缘。这一思想转变被称为“哥白尼式的转变”，即发现地球并非那么重要。而“哥白尼式的转变”，正如我所说的，是在不拒绝这种顿悟的前提下，改变了它的意义。我们继续认识到地球几乎是沧海一粟，但我们现在也意识到它是非常不寻常且非常珍贵的。迄今为止，我们还没有找到任何接近它的美丽与奇妙的星球。

> “星星可能很大，但它们没有思考和爱的能力。思考与爱的能力比尺寸的大小更能打动我。”——弗兰克·拉姆齐（Frank Ramsey）

宇宙学家乔治·埃利斯（George Ellis）认为，在最大和最小的尺度上，我们绘制的关于现实的地图或许已经接近可能的极限，但在我们生活的中间尺度上，现实的复杂性几乎是无限的。但无论极端情况下会怎样，在这个世界上，我们能够直接用我们的感官去感知的奇迹，与更小尺度和更大尺度的奇迹都是相连的。正如作家巴里·洛佩斯（Barry Lopez）所说：“当我们生活在土地上时，我们面临的挑战是与宇宙学家创造的连续创生思想相结合，和物理学家们提出的空间和时间悖论相结合，来观察地貌的微妙的优雅和变化。它们都是神秘的十字架，无论是其中所包含的小东西——北极狐、矮桦树、π介子；还是包含它们（例如银河系）的星云。”

> “我们所居住的土地不仅仅是土壤；它是能量的喷泉，循环流经万物。”——奥尔多·利奥波德（Aldo Leopold）

“World”这个词起源于古英语的“Weorold”，是“人”（wer）和“年龄”（eld）的复合词，也就是“人的年龄”的意思。也许是盎格鲁–撒克逊人想到了米德加德，这是九个神话世界中最中间的世界，也是唯一一个有人居住的世界。但是，这个词的词根在今天却有着人们未曾预见到的意义。今天，我们真的生活在人类的时代——人类世，在人类世中，人类是地球上生命的主导力量。人类创造了许多奇迹，下一章将探讨其中的几个。但我们中的许多人在这一过程中也正在破坏很多东西。占主导地位并不一定意味着控制全部，目前，现在我们似乎越来越难以控制自身对地球和其他生物的整体影响了，就像一个烟瘾大的人无法控制自己的烟瘾和它对肺部和心脏造成的风险。气候变化似乎已经比几年前人们设想的最极端的情景都更加严重了，物种的灭绝率似乎也正在提高。天体生物学家戴维·格林斯庞（David Grinspoon）的想法比较积极，他认为人类文明（而不仅仅是少数美德标兵）可能会发展出一种“行星智力”，我们会从中学会对整体的关心。我们是否会集体证明自己的智慧，并且超越与一群不受控制的细菌

感染的集体行为区分开来，这一切还有待观察。

“从来没有一个地质力量知道它自己的行为。人类至少有一种模糊的，而且在不断增长的认识，认识到他们在这个星球上的存在所带来的影响。我们有可能将这种认识融入我们与地球系统的互动中，这种可能性应该能给我们希望。”——戴维·格林斯庞

梦见新的世界

“虚拟现实”一词指的是20世纪后期人们使用软件来产生与现实世界相似的印象，或创造一个虚构的世界的技术。但从某种角度来看，这种技术只是大脑一直在做的事情的延续。在每一个醒着的时刻，大脑都会将对其周围的真实环境进行的短暂而粗略的感知组合起来，重新创造出因距离和时间而错过的地方，或者编造出另一种存在的可能性。就像柏拉图的洞穴里的囚徒，我们每个人都在不断地将真实世界的图像投射在我们大脑内的一张虚拟屏幕上。（约翰·伯杰认为，早在石器时代，在我们祖先在洞穴深处绘制壁画的时候，那里已经有了一切：风，水，火，遥远的地方，死亡，雷，痛苦，小径，动物，光，未出生的人……）

“现实”就像一个巨大的马戏团帐篷，可以折叠和调节，无论我们走到哪里，都可以随身携带。——伊丽莎白·毕晓普

然而，这项新技术确实能让我们随心所欲地、可靠地创建和复制其他的世界，并且随着该技术不断的改进，它将令更沉浸、更真实的世界成为可能。它还能让我们在与现实世界的互动中获得几乎无限的数据和额外的感官刺激。这意味着，在某些方面，我们将打破博尔赫斯在短篇小说《关于科学的精确性》中所描述的僵局：一个帝国的地图变得如此详细和庞大，以至于它威胁到帝国本身，并因此被抛弃。我们不需要因为地图太大、太不实用就把地图扔掉，我们可以轻易访问它的任何部分，无论它代表的是遥远的还是很近的地方。这既是坏消息也是好消息。其潜在的一些缺点在科幻作品中经常被提到。例如，这项技术可以帮助我们将自己锁定在虚拟的平行世界中，在这种虚拟世界中，我们意识不到自己被控制了——类似电影《黑客帝国》，但不同的是，这些幻象是由国家、公司或罪犯等实体控制的，而不是由智能机器控制的。

爱德华·斯诺登（Edward Snowden）认为，在一个类似《黑客帝国》

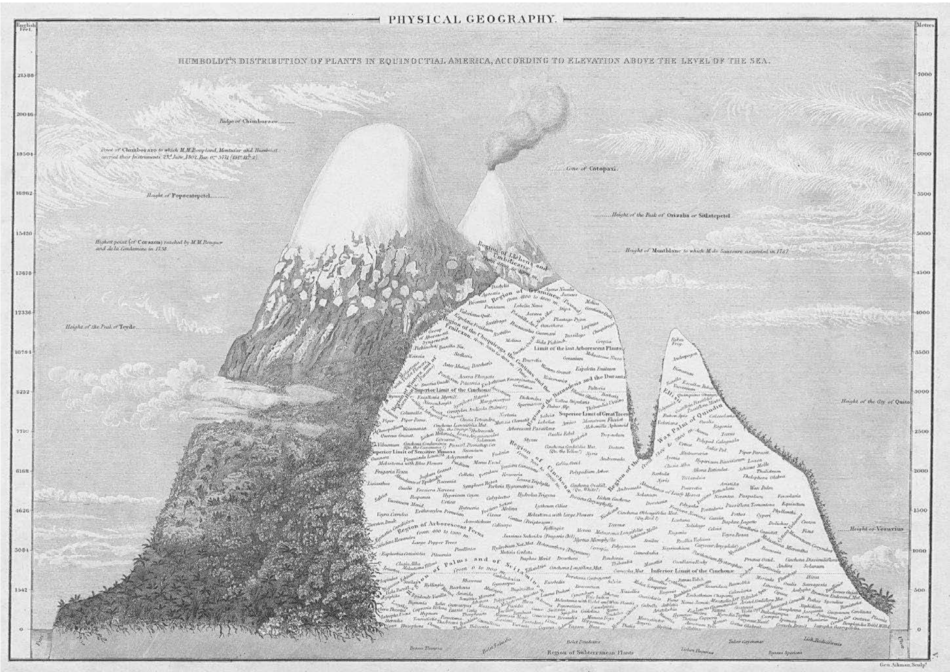
中“母体”的世界，“政府可以降低我们的尊严，就像被标记的实验动物一样”。

但如果理智地使用它们（我们当然要这么做），虚拟现实和后续技术会有巨大的发展空间。利用混合和增强现实系统，地图和数据可以灵活地叠加在我们面前的实际事物之上，便可以帮助那些从事国际发展工作或打击犯罪和腐败的人。这些技术也能使我们在完全自由且不伤害他人的情况下，创造和试验各种可能性。例如，在虚拟现实头戴设备的帮助下，我们已经可以体会到成为一种濒临灭绝的珊瑚，或者一头即将被屠宰的牛是什么感觉。就像卡尔维诺1972年出版的小说《看不见的城市》（*Invisible Cities*）中的博西斯的居民一样，隔着一段距离凝视着没有他们的世界，我们将能够在不打扰他人的情况下接近非人类的奇迹（在我那长长的想要探索的地点名单最顶端的是巴西、圭亚那和委内瑞拉三国交界处的平顶山区——这是一个丛林环绕的“失落的世界”，有数十亿年的历史。这是地球上最少被探索的地方之一，包含一些世界上最深的灰岩坑和洞穴系统，几百万年来都没有受到干扰。山区深处的洞穴里，有滚滚浓烟，喷射出蘑菇状的矿物。）

虚拟或增强现实可能有助于我们更多地了解细微的细节，以便我们可以像托马斯·哈代（Thomas Hardy）的小说《林地居民》（*The Woodlanders*）中的贾尔斯·温特伯恩一样，通过穿过树枝的风声的音色来区分不同种类的树木。我们每个人都可以获得一幅宏伟而完整的远景，像亚历山大·冯·洪堡（Alexander von Humboldt）所做的那样。1802年6月，在安第斯山脉的钦博拉索山山顶附近的一瞬间，他把所见、所感知的生命，从他周围的岩石区，到阿尔卑斯山的斜坡，再到茂密的雨林，毕生的所知所闻都融合成了一个壮丽的整体。

在金·斯坦利·鲁滨逊2015年的科幻小说《极光》（*Aurora*）中，一艘巨大的太空船被派往距离地球12光年远的鲸鱼座T星周围的行星，用于殖民。这段旅程需要160年的时间，七代机组人员都生活在围绕着一个中心“脊柱”旋转，以创造人造重力的分离舱里。每个舱长4千米，大到足以容纳一个模拟生态系统的生物群落，如雨林、草原、沙漠或温带森林，不同舱模拟的生态系统不同。除了一个分离舱之外，所有舱里的居民都知道自己出生和死亡的小世界是人造的，并且位于一个宇宙飞船里，而这艘宇宙飞船本身被造出来就是为了走向终结。只有一个例外，就是在“拉布拉多”苔原生态系统舱中的一些孩子，他们在他们祖先的生活方式中长大，跟随北美驯鹿，靠土地为生并且学习技能，正如其中一位所说，“我们是如何像动物一样生活，又是如何成为人类的”。只有在成年后，这些年轻人才会穿上太空服，到外面接受真相。意识到目前为止他们的生活只是一种幻象，这给他们带来了极大的震惊，但对于大多数人来说，这样的体验令他们变

得更加强大，那些继续生活在“拉布拉多”舱里的人则认为他们是船上唯一真正清醒的人，并用同样的方式把他们的孩子抚养成人。



钦博拉索山上的植物按照不同海拔分布的横截面。亚历山大·冯·洪堡和埃梅·邦普朗（**Aimé Bonpland**）绘制，**1805**年

你我也生活在两个世界中：一个是我们人类幻想出来的世界，我们把它当作现实，但它被包含在一个更大的，并非由人类创造出来的世界里。我们时不时地会感觉到这个更大的现实，当我们不急于用语言、地图或其他概念框架进行表达的时候，就会发生这种情况。巴里·洛佩斯写道：“当一个观察者没有立即把他的感觉用语言表达出来的时候，细节就有了更多的存在空间，在印象的前景中始终鲜活地存在，这些细节起初看来或许并不重要，之后可能会显现出更深的意义。”

> “筌者所以在鱼，得鱼而忘筌……言者所以在意，得意而忘言。”——庄子

如果我们要让这个世界不仅仅是人类发明的舞台，而成为人类与非人的他者的共同繁荣之地，那么有时候我们就需要停止说话，把技术放在一边，

走到外面去，让一些原本看起来无关紧要和不可预知的事物显现。在这样的时刻，我们也许会欣赏并感激这一切，就像谢默斯·希尼（Seamus Heaney）在他的诗《附言》中所写的那样，我们“既不在这里，也不在那里/匆匆地经过那些已知的和陌生的事情”。

> “然而，所有的话都变得无用，变为/一个比那个声音更小的正式的毁灭/在我垂死的生命之树上紧握着。”——W. S.格雷厄姆（W. S. Graham）

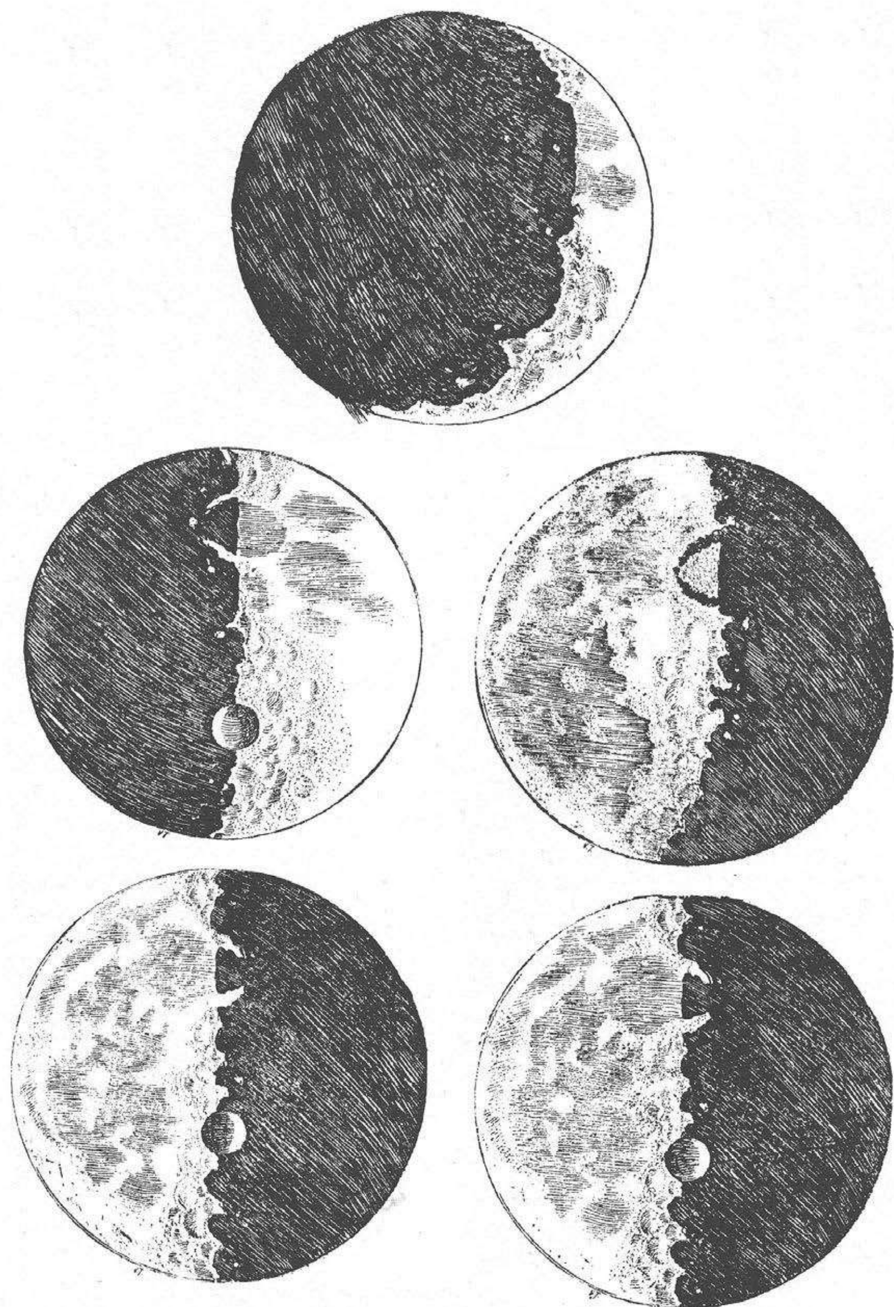
我是在一间小屋里完成本书大部分内容的写作的，就像抄写员巴特尔比（出自赫尔曼·梅尔维尔的小说《巴特尔比：一名抄写员》）一样。小屋有一扇窗户，透过窗户，可以毫无阻碍地看到一堵墙。但有一个星期，我来到了另一个小屋：在内赫布里底群岛中埃格岛西海岸的一个海湾上的一个小山丘上。从这座小屋里可以看到旁边的鲁姆岛，被侵蚀的火山口在数千万年前就已经烧尽，却仍能从海上直接升出1 000米的高度，而且形状十分优美。我还能看到海湾外的一片开阔的海面，在盛夏晴朗的夜晚，我注视着云朵从西南的地平线上升起，在金色的水面上方移动，速度与钟面的时针差不多。偶尔，在西方地平线的边缘，会出现80千米外的巴拉、瓦特赛、桑德雷和帕贝（它们都是内赫布里底群岛南部的岛屿）的身影，像鲸的背一样，又从光和水中消失，仿佛它们是一群被祝福的小岛。

> 艺术家亚历克·芬利（Alec Finlay）曾幻想如今是海的地方曾经存在过一片传说中的森林，写道：“从鸟儿狭窄的喉咙里吹出的歌声，在气泡中升起，浮在水面上。”

一天晚上，完美的半个月亮飘过海湾。我想起了阿那克西曼德，他对天空的维度感到困惑，并做出了超乎寻常的想象。通过我的双筒望远镜，月球中线上的环形山清晰可见，阴影侧的圆形边缘像伽利略的1610年绘制的明暗对照图一样，在光线中清晰可见。我想起了这位同样把那粗糙的望远镜指向月亮的伟大的物理学家，当他第一次看到我所看到的景象，并意识到月球是崎岖的和多山的——与地球类似——而不是如月神肌肤般平滑时，一定也有着与我现在同样的感受。

我呼吸着夜晚的气息。没有风，当我凝视着月亮的时候，我可以听到海浪轻轻地拍打着半英里外海湾的沙滩。这些印象集合在一起，令我感到了极大的喜悦，这是一种完全存在的感觉，伴随着一种光辉灿烂的平和与宁静。在埃格岛上体验到这一点令人感觉格外好：在过去的20年里，当地人民争取并赢得了土地的所有权，现在正在努力创造一种公正的、可持续

的、令人愉快的生活方式。在途中，我曾在不列颠本土海岸的阿里塞格停留，纪念曾在那里与特别行动处一起训练的捷克斯洛伐克志愿者，他们谋划暗杀了“二战”时期纳粹“最终解决方案”（针对犹太人的种族灭绝）的首席规划师赖因哈德·海德里希（Reinhard Heydrich）。这让我想起了我祖父那代人的时代，当时，英国与其他欧洲人团结一致，反对历史上最邪恶的思想之一，并没有迁就他们。



在第一批驶向巴塔哥尼亚的欧洲人心目中，当地人是丑陋的怪物，长着巨

大的脚。在接下来的400年里，欧洲殖民者的主要行为是奴役或消灭他们。最后的种族大屠杀之一发生在19世纪末至20世纪初，当时火地岛的居民遭到毁灭。色克南人像野生动物一样被射杀，而雅马纳人（Yamana）和卡瓦斯卡人（Kawésqar）则被奴役，大部分死于疾病。然而，有一些原住民被记录在了1920年人类学家马丁·古辛德（Martin Gusinde）拍摄的照片中。他的照片中不仅包含原住民简单的肖像和日常生活场景，还有精神世界的活动。后者从戴着面具的男人身上体现出来，他们用赭石（红色）、磨碎的骨头（白色）和木炭（黑色）当成颜料涂在自己身上。例如，我们看到Shéit——雪天的灵魂（南方天空），Pahuil——海天的灵魂（东方天空），Télil——雨天的灵魂（北方天空），和Shénu——风天的灵魂（西方天空），还有其他十几种灵魂。在这些人留下的影像中，我们可以追踪到他们是如何在自己的身体上绘制自然力量，并将这些力量带到自己身上的。在他们身体上画的深色背景上的白色斑点可能代表星星。

“踩在地上的时候小心一点儿。地球的表面是尸体做的。”—— 阿布·马阿里（Abul Al-Ma‘arri）

“更多的是被埋葬在沉默中，而不是被记录下来。”——托马斯·布朗

回到家中的小屋里，我又看了一眼赫里福德大地图的复制品。在右下角，代表世界的圆圈之外，一位骑马的旅行者转头挥手告别。（他看起来像是阿尔布雷希特·丢勒于1513—1514年间创作的著名雕版画《骑士、死神和魔鬼》中心的人物，只是看起来更天真无邪，没有那么老练。）不难想象，他所游历的那个未被发现的国家就是我们这个世界。今天我们所处的这个世界，他已经很难认出来了。

我们所知道的这个世界的命运，对我们来说并非难以捉摸。如果像现在看起来的那样，海平面显著上升，那么地球上许多陆地的轮廓将会被改变。除非我们重新思考及重新规划人类的许多活动，不然很多陆地和海洋中的自然奇观，其品种和数量都会大大减少。大自然会变得越来越“单薄”，而这一现象可能只是变化的一小部分，而且仅仅是个开始。或许，我们从未梦想过的新的奇迹可能让我们的世界充满希望。我们不知道未来会怎样。我们的旅程将带我们进入一个不在任何地图上的国家。

“有时我认为没有光，但有时我认为是有光的。”——迈克尔·麦卡锡（Michael McCarthy）

几个星期后，我去瞻仰了真正的赫里福德大地图。岁月在它表面留下了棕色的皱纹，它的尺寸之大令人印象深刻，被仔细地装裱，打上了光，一看就知道是一件古老的珍宝。参观它也使我来到了一个我不知道且从未想过要拜访的地方。保存这张地图的大教堂是一座宏伟的建筑，它展示了古人的勇气、信仰和审美，正如今天的人们所拥有的一样。但是，正如地图本身所显示的，最伟大的奇迹总是在墙外被发现的。走进奥德利教堂，我看到了彩色的玻璃窗，在晨光的照耀下闪闪发光。这些窗户是为纪念托马斯·特拉赫恩的生平和贡献而造，他是当地人，在田野和山丘间发现了他真正的教堂。对于特拉赫恩来说，即使天空中的空气也是神圣的，因为它“十分珍贵而且纯洁、透明……如果没有这一宝藏，世间万物都将毫无价值”。

看到光线从这些窗户中倾泻而下，就像听到约翰·亚当斯的音乐作品《和声学》（*Harmonielehre*）的第三乐章一样，我有种跑出去的欲望，想去追寻它们的源头。于是，第二天，我向东行驶了200英里，直到陆地的边缘。在埃塞克斯的登吉半岛的布拉德韦尔，有片海滩，大部分是由数以亿万计的贝壳组成的。每一枚贝壳都被海水和雨水冲刷得干干净净，而且形态各异。每一枚贝壳都像是14世纪的神秘主义者——诺里奇的朱利安（Julian of Norwich）笔下写的那样：“就像一颗榛子那样的小东西”。当你踩在上面的时候，会发出像早餐时咀嚼麦片一样嘎吱嘎吱的声音。它们开始缓慢地转化成沙砾或淤泥，并在数百万年后变成岩石。在其中一个地方，海滩已经大部分是沙子了，一小片淡水流入大海，在一个非常安静的日子里，你可以听到它们在水流中翻滚时发出的噼里啪啦的声音。

“如果不被海浪所阻，一个出发探险的人总能回到最初的起点。”——布鲁内托·拉蒂尼（Brunetto Latini）

---

1. 这些地名是意第绪语、波斯语和纽约下层俚语的混合体。

2. 但有人指出，这句话并不是比耶尔斯说的，最初出自“一战”期间的美国杂志，后在1987年被单口喜剧演员保罗·罗德里格斯引用而出名。

3. 济慈在《明亮的星》（*Bright Star*）中写道：“明亮的星，愿我如你般坚定……”

第7章

未来的奇迹——用或然冒险

所有的（事物）都被人的思维之网驯服……善恶皆如此。

索福克勒斯，《安提戈涅》

报纸、机器、铁路、电报，它们的千年定论还无人敢写。

弗里德里希·尼采

技术这个词，描述的就是一些不起作用的东西。

道格拉斯·亚当斯

安德烈·布雷顿（André Breton）在他于1924年发布的超现实主义宣言中写道："孩子们每天都不需要担心这个世界。一切都近在咫尺，最差的物质条件也不赖。"但他认为，随着孩子的成长，他们只能把无限的想象力限制在武断的规律下，等到他们20岁左右的时候，他们大多数已丧失了想象力。"我们总是想弄懂未知的事物并对其分类，这种无休止的欲望让我们的大脑感到乏味。"为了摆脱这种命运，布雷顿建议我们保留对梦想和疯狂的教育。不管疯子会对他人造成多少麻烦，他们至少对自己的妄想是坦诚的。

布雷顿推动的艺术运动，即超现实主义，旨在通过梦中和疯狂状态下会感受到的突然出现的奇迹和神秘的美，来释放想象力，他们的作品包含诸如皮毛制成的杯子、碟子和勺子，龙虾电话，以及一幅描绘一个在镜中看到自己后脑勺的男人的画。这种玩笑一般的态度背后有个严肃的目的。1916年，在撰写宣言的8年前，布雷顿是一名医学和精神病学的年轻实习生，在医院为精神病患者服务。那是"一战"的紧张时期，每天都有成千上万的人在前线受伤或死去。布雷顿有个病人是一个坚持认为战争不存在的男人。不久之后，布雷顿被派去凡尔登扛担架，并担任卫生员。在凡尔登，一场目的明确就是为了碾压人类生命的战争在10个多月的时间里造成了大约100万人死亡。对于布雷顿来说，这场可怕的屠杀之所以会发生，不仅仅是出于政治家和军事领导人的罪恶和愚蠢，或某些个人对暴力的欲望，而是资产阶级的理性和文明本身，而对于这样一个"在这场可怕的冒险中毫无收获的世界，我们已经没有和解的希望了"。他希望可以在艺术

的帮助下发现或创造另一种方法，这种艺术通过将遥远的真实事物排列组合，以产出不合逻辑、令人吃惊的感受。他认为，这类艺术有可能会激烈地瓦解，并彻底地改变人们的思想和感觉。“美，”布雷顿写道，“要么令人震颤，要么根本不存在。”

> 凡尔登战役中，一名法国中尉在被一枚炮弹炸死前不久，在日记中写道：“人性是疯狂的。它一定是疯了，才会做它正在做的事情。真是一场大屠杀！多么恐怖残忍的场面！我找不到能够传达我脑中印象的词语。地狱都不可能有这么可怕。人们全都疯了！”

也许有人会说，至少在短时间内，超现实主义失败了。相较于布雷顿的恐惧，与他几乎同时代的，与超现实主义运动息息相关的最著名艺术家之一萨尔瓦多·达利（Salvador Dalí）在法西斯西班牙非常舒适地生活着。并且，即使有人像我一样相信，超现实主义和其他艺术运动已经取得了很大成就（尤其在它们破坏期望和激发奇迹的这一方面），关于它们在何种程度上推动变化，而非仅仅反映变化也是有争议的。它们的影响最多是间接的，影响着我们梦想的本质和我们对所重视之物的感受。相比之下，技术发展往往明显而直接地影响着我们对“什么是可能的”感知的变化，并由此影响我们的思考和行动，以及我们在何处发现奇迹。新技术带来了新的现实和人类互动的新形式，包括艺术的新形式。技术的创新可能在梦中诞生，却被系统性的实验和逻辑思考所推动，从而产生令人惊奇的、不可思议的、解放的或具有深刻破坏性的后果——有时甚至会同时产生所有这些后果。

我们以阿特拉斯（Atlas）为例，这是由美国国防部高级研究计划局（DARPA）资助，波士顿动力公司开发的类人机器人，据说最终目的是搜索和救援。早在2016年发布的一段没有画外音和对话的三分钟视频中，阿特拉斯初次亮相，像胡桃夹子玩具一样，从该公司其他机器人的静态展示旁走过，其中包括早期视频中的明星“大狗”机器人（BigDog）。当它走出门外时，它站立起来，像蹒跚学步的小孩一样迈步——尽管它身高六英尺，且由钢铁制成。虽然它最近才刚刚拥有行走的能力，但它越来越自信。随后它相当流畅且轻松地穿过白雪皑皑的林地，动作与活生生的生物极为相似，因此触发了存在于我们大脑识别系统深处的一些东西：这就是鲜活的生命，就像我们其中的一个一样。但它在有些方面还是不同于生物。当地面不平坦并且阿特拉斯蹒跚前行、几乎跌倒时，这种不同体现得尤为明显。人类在大脑中至少有两个视觉系统——一个为行动服务，一个为感知服务。我们能在崎岖的道路上轻松移动主要归功于后者，它与我们的其他感官合作，如本体感觉（对我们的四肢在哪里的持续意识），使我们无须有意识的处理便能很快修正步伐。阿特拉斯似乎只能在一段时间之

后才会对摇晃的一步的后果做出反应，并因此而大幅地摇晃以转变方向。然而，它每次都会在近乎摔倒的时候恢复过来，从大多数人都会摔得四脚朝天的角度调整过来，继续它生涩的漫步。

> 另一个名为“DARPA机器人挑战赛摔倒集锦”的视频展示了机器滑稽的失败之处。

视频继续播放，阿特拉斯回到室内，拿起盒子，将它们放在钢架上。它的动作是精确而庄重的，就像一个马戏团舞台监督被发配去仓库里填写订单一样。接下来，一名人类工程师用一根曲棍球棒把阿特拉斯刚拿到手里的一个盒子打下来，然后把盒子扫到别处，阿特拉斯只好停下来再次弯下腰去捡起它。就像一场查理·卓别林的滑稽短剧，我们这位无可阻挡的英雄每走一大步都会遇到挫折，但机器人一直努力去做它之前做的事情。最后，另一位工程师从后面接近阿特拉斯，并用一把大锤用力把它打倒。一时之间，阿特拉斯以瑜伽的儿童体式趴倒在地上，显得受挫又失败，但马上，它的脚和膝盖发出“咔嗒”一声，支持着它以非人类的速度和力量猛地跳了回来。

从它无辜的一跳以回到站姿的一瞬间可见，这会成为一种强大的未来武器。但在我们还没来得及消化这一思想的时候，阿特拉斯又倒下了，倒在后门之外。它可能是童话《晚安大猩猩》中从动物园逃跑的一只喜剧动物，又或者可能是“电台司令”（Radiohead）乐队的《白日梦》（*Daydreaming*）视频中主唱汤姆·约克歌声的机械式回响。

黑色玻璃

在未来的几十年里，会有数十种乃至数百种创新改变我们的生活方式——也由此改变我们如今以21世纪的技术找寻奇迹甚至崇高体验的方式。某些进步可能会彻底改变人类的生活。这一章将简要地探索众多诱人的可能性中的几种，主要涉及能源生产、空间探索以及计算机和机器人领域。但首先我要提出一条警告，并介绍一些背景。

> 我们无法跟上一切新事物。正如罗伯特·伯顿在1621年左右写的那样：“每天都有新的书、小册子、报纸、故事、各种各样的卷册、新的悖论、观点、分歧、异端邪说、哲学争论、宗教等等。”

据说，科幻小说作家斯坦尼斯瓦夫·莱姆（Stanisław Lem）所做的一切预

测都是正确的。他在海陆空核三角战略实施前就预测到了冷战时期美苏双方的互毁式核武攻击政策，在互联网出现之前就已经预见到它将成为一片虚拟驱赶事实之地。（他问道：“当重要的事实被骗子的洪流湮灭的时候，我们能做些什么？”）在“虚拟现实”一词出现以前，他就已经写到了类似的技术给教育和文化可能带来的影响，还给这一技术起了一个可能比“虚拟现实”更好的名字——幻象学（phantomatics）。在基因工程和纳米技术的伦理问题出现的几十年前，他就预料到了这一点。尽管如此，莱姆对于做出预测还是比较谨慎的。他警告说：“没有什么能比对未来的预测更容易过时。”

> 科幻作家科里·多克托罗（Cory Doctorow）观察并总结道，科幻小说在预测未来方面表现得十分糟糕，但在预测现在方面却十分出色。

有许多原因都会使得对未来技术的预测经常出错，更不用说对未来的大致预测了。原因之一是我们有一种低估不确定性的倾向，并且偏向于支持我们已经知道的东西。经济学家约翰·梅纳德·凯恩斯写道：“未来可能与我们现在有所不同这一点，是我们传统的思维和行为方式很难接受的，所以我们中的大部分人都对在实践中遵循这一点行事抱有抵触情绪。”但是，即使是把变化纳入考虑的人也经常低估或高估变化发生的速度。（这方面的一大错误来源是低估了正反馈，或者说雪崩效应的重要性——你看不到它出现。）有一个著名的传言称20世纪中期IBM的第二任总裁小托马斯·J.沃森（Thomas J. Watson Jr）曾表示全球市场只需要5台电脑，这一言论是杜撰的，但在1977年，数字设备公司的肯·奥尔森（Ken Olsen）确实说过个人没有理由在家中备置电脑。高估科技发展速度的例子也不少。航天飞机制造商罗克韦尔国际公司在1989年制定的综合航天计划中设想：到20世纪90年代初，人类将在太空中永久生活；到2006年，月球和地球将形成“双行星文明”；到2020年，我们可从小行星获取无限的物质资源；到2050年，人类的扩张将超越太阳系进入宇宙。现在距离这份计划的提出已经过了差不多30年，而我们似乎距离人类常驻月球仍有数十年的光阴。（在罗克韦尔公司的设想中，只有一个看起来稍微可能按照他们预计的时间完成：到2020年，地球上将有无限的太阳能。）

> “你看不到它出现。哪怕你努力尝试，你可能也做不到。规模的巨大变化所产生的影响常常超出我们的感知能力，甚至超出我们的想象。”—— K. C.科尔（K.C. Cole）

孤立地看待技术是走不远的，而那些专门认真规划企业和社会的未来，并

将其作为事业的人，则会强调在与其他驱动变革的因素的关系中看待技术发展的重要性。未来学家戴维·伍德（David Wood）反对预测超过10年之后的事，他认为，下一个十年将取决于4条相互作用的轨迹。第一条轨迹是技术性的，他认为其趋势在很大程度上是非常正面的。但是第二条轨迹——社会危机发生的可能性越来越大——则具有很多负面的倾向。伍德认为，这两者角力的结果可能会被确定为第三种轨迹：世界各地的人学习相互合作（而非相互竞争）的程度，而这又会受到第四种轨迹的影响：指导我们行动的哲学和价值观。

但是，未来学家有时并不是试图做出具体的预测，而是如该领域的先驱加斯东·伯杰（Gaston Berger）所说，以“扰乱现在”为目标。另一位未来学家安德鲁·柯里（Andrew Curry）则表示：“我们的许多工作实际上只是让人们能够更宏观地看待他们所处的系统，因为很多时候事情变化得很快或者彻底改变，是因为它们直属系统之外的事物发生了变化。”主流观点是，当我们能够更好地意识到我们正常关注点之外的事物时，我们面对未来并塑造未来的能力更强。

“我们的知识是历史性的、不断流动的。”——伊丽莎白·毕晓普

风险投资人阿尔贝特·文格尔（Albert Wenger）就是遵循这一思维方式的人。他认为，技术进步虽然拓宽了人性可能的空间，但它们始终是把双刃剑。例如，控制火的能力让人学会了烹饪，也让大肆摧毁森林成为可能，对铁的掌控既能锻造犁刀也能锻造刃剑。同样，互联网可以使人人都能免费接受教育，但也会传播仇恨和错误信息；人工智能可以更安全地驾驶汽车，但也可以用于更有效地操纵人。尽管如此，文格尔表示，目前的技术创新浪潮是特殊的，因为它带来了一种人类此前只经历过两次的改变，第一次是农业的诞生，第二次是启蒙运动和工业时代。文格尔认为，第三次改变是数字技术的普遍推广以及边际成本几乎为零的计算的普遍可用。他认为，这将深刻地改变人类社会的“限制性稀缺物品”（binding scarcity）。他再一次列举了一些历史上的先例：在狩猎采集时代，限制性稀缺物品是食物；在农业时代，是土地；在工业时代，是资本。而在这个正在铺展开的新时代，限制性稀缺物品将是知识和关注。正确地实现转变至关重要，因为之前的两次转变都伴随着大规模动荡和剧变，其中包括从农业向工业时代转变期间的两次世界大战。

“我的朋友，我们已经把森林变成了荒地。我们该如何回答我们的神？”——吉尔伽美什史诗，约公元前1800年

埃里克·德雷克斯勒（Eric Drexler）认为，原子尺度上的精密制造（本质上是纳米技术）对实物产品的影响也会像数字技术对信息、声音和图像产生的影响一样。也就是说，让实物产品几乎是免费和普遍可用的，我们将迎来一个“固有的富足”时代。

历史学家娜奥米·奥雷斯克斯（Naomi Oreskes）和埃里克·康韦（Erik Conway）描绘了如果社会未能实现正确转型，未来将会是什么样子。在他们2014年发表的思考性的小说《西方文明的瓦解》（*The Collapse of Western Civilization*）中，一名中国历史学家在2393年撰文回顾了21世纪人为造成气候变化失控（换句话说，这正是今天看起来很可能发生的事），由此导致战争、饥饿和疾病，造成大规模死亡的历史。这位记录者尝试弄清楚问题出在哪里，将问题指向盲目固守“自由”市场的意识形态及在此基础上的一味否定与自我欺骗。可悲的是，许多西方人都知道发生了什么，但无法阻止它发生：“事实上，这个故事最令人吃惊的地方就在于这些人知道那么多，但他们在自己所知的基础上又是那么地无力行动。知识并没有转化为力量。”科学家们自己不愿发声，拒绝启蒙价值而赞成后真相政治的强大利益也束缚了他们。北卡罗来纳州众议院819号议案就体现了这一点，该议案在2012年禁止美国国家和地方机构根据表明海平面上升加快的科学模型制定海岸政策。紧随其后的是2025年的国家稳定保护法案，该法案使得300多名科学家以威胁公众的安全和福祉的罪名被定罪并监禁。［2012年的议案确实通过了；2025年的法律当然只存在于想象中的未来。《西方文明的瓦解》这本书在唐纳德·特朗普和斯科特·普鲁伊特（Scott Pruitt）将对气候科学的否定上升为美国政府最高层的意志之前就已写成。］奥雷斯克斯和康韦将无法及时地应对气候变化的责任仅仅归于市场为本论，可能是错误的。否认并无视包括气候变化在内的一系列挑战和威胁的人，也可能是各种其他信仰体系的追随者。但目前来看，他们描述的情景像是对当前趋势的合理推演。不过，尽管如此，这也只是众多可能的未来之一。毕竟，他们的书的目的就在于敦促人们努力避免这样的结果。思考未来，是为了改变我们现在的行动方式。

供百亿人口使用的能源

对于今天活着的超过75亿人中的两个人来说，现成的和负担得起的能源是我们几乎没有注意到的日常奇迹。能获得这类能源是使得我们比前几代人更富有（也许还更幸福）的原因之一。历史的趋势是惊人的。在1800年的英国，工作一个小时的平均工资只能买10分钟的人造光。而在1880年——就在灯泡普及之前，当时煤油灯仍然是最佳选择——平均时薪能购买3个小时的夜间阅读时光。如今，一小时的工作能买到300天的灯光。直到最近，大部分这样充足的能源供应都来源于煤炭、石油和天然气的燃烧。

但这样的能源供应要持续下去，就必然带来危险的气候变化。为了满足全球人口（在21世纪后期可能达到90亿到100亿）中大部分人的需求，低碳乃至零碳的能源替代品是必要的。这一挑战很艰巨，但是能够实现。全球煤炭和石油消耗量可能最早会在2020年达到顶峰，而由于效率的提高，全球能源总需求可能会在21世纪30年代达到峰值。

一些矿物燃料的替代品很常见。它们包括各种形式的生物质，如木材和从农作物中提取的燃料，这些可能仍然是能源结构的重要组成部分。生物质为德国提供了约三分之二的可再生能源，而德国在绿化能源方面做得几乎比其他国家都多。这一路径存在缺点——生物质的生产可能需要大量肥沃的土地，并会导致生态和野生生物价值很高的森林遭到破坏，但技术进步可能会减少这些缺陷。利用基因工程改造藻类或其他生命形式的生产燃料，可能会被证明是重要的新能源途径。另一种很有前景的方法可能是仙人掌和其他干旱地区多肉植物的厌氧消化。

常规核裂变反应堆产生核能的温室气体净排放量也接近为零，尽管德国政府希望在全球范围内逐步淘汰核电，但该技术仍在能源供给的舞台上扮演主要角色。世界核能协会称，全球约有440座反应堆，提供了全世界11%以上的电力，且2016年有60多座新反应堆正在建设中，处于计划中的则有160多座，另外，世界范围内人们还在提议新建300多座核反应堆用于发电。然而，核裂变是否会在向近零碳经济的转型中发挥核心作用还有待观察。一些反应堆类型（例如英国提议在欣克利角C建设的反应堆类型）可能会造价极高，而且新一代模块化反应堆将需要数十亿美元的新投资。增殖反应堆，即自行大量产生燃料的反应堆，会产生钚，而这是一种有长期潜在危险的废弃物，并且非常适合制造原子弹。

水电和风力发电也可以提供大量接近无污染的能源。大型水坝只能建在数量有限的地方，并且往往具有破坏性影响。在我撰写本书时，一个突出的例子是拟修建的巴西塔帕若斯河拦河坝，这将迫使蒙杜鲁库人离开祖先的土地，并淹没一片极具生物多样性的地区。风力发电有更大的潜力，并且可能对环境的影响更小。世界上最大的陆上风电场位于中国甘肃，它的额定峰值功率为6.2千兆瓦，预计到2020年将提高至20千兆瓦 ——相当于10~20个非常大的燃煤发电站，略微超过中国电力需求总量的1%。相比之下，我撰写本节内容时正在运行的最大海上风力发电场伦敦阵列（London Array）的峰值额定功率仅为0.63千兆瓦。

这可能仅仅是一个开始。2017年初，中国国家能源局宣布将投资至少3 600亿美元（2.5万亿元人民币）用于发展包括风能和太阳能在内的可再生能源。

但是，提到安全、持久、可负担得起的能源，潜力最大的来源可能还是太阳，要么是以太阳为灵感制造出的人工核聚变装置，要么是通过光伏发电和其他太阳能发电系统直接从太阳获得能源。核聚变将在地球上以小得多的规模和受控的条件，重现太阳内部每时每刻发生的事——而且，理论上讲，它的效率比太阳还高。与裂变不同，聚变不会产生有毒和长寿命的放射性废料，且聚变反应堆也没有堆芯熔毁的风险。它的主要燃料是氘，是一种氢的同位素，它就存在于普通的水中，与氧结合，因此几乎可以无限量供应。1千克的氘可以产生与10万桶石油一样多的能量。如果核聚变可以投入使用，那么世界的能源需求就可以永久地解决，而这个过程产生的废料只有氦气，可以充进气球以及作为磁共振成像扫描设备的制冷剂。可控核聚变将宇宙中最为绝妙的现象之一置于人类的控制之下，将是技术的最高典范。

不受控的核聚变以1952年美国的“艾维·迈克”（Ivy Mike）原型氢弹的爆炸为标志率先实现。在那之后的十年间，美国和苏联的军队拥有的炸弹足以摧毁地球上所有人类的生命。

20世纪50年代，科学家为了和平的目的尝试驾驭核聚变，开启了一系列充满希望的实验，如物理学家詹姆斯·塔克（James Tuck）开发的名字很讨喜的“或然器”（Perhapsatron）——一种试图在电磁场中“夹住”超高温度等离子体聚变的早期试验装置。但到目前为止，这些希望还没有实现。在此后的60年中，数十个国家的数千名有才华且资金充足的研究人员都未完成使受控核聚变可行的挑战。

一些核聚变的拥护者声称，等到2027年国际热核实验反应堆（ITER）计划在法国卡达拉什如期启动后，受控核聚变就将成为现实了。ITER高30米，重达320 000吨，包含千万个组成部分，是有史以来最复杂的机器之一。（它的建设至少花费了200亿美元，约为“阿波罗”太空计划的五分之一，因此也可能是最昂贵的机器。）这座装置包含了超过2 800吨的超导磁体，其中一些比超大型喷气式飞机都重，将通过200千米的超导电缆连接，用全球最大的低温设备保持在–269摄氏度，每小时将泵送12 000升液态氦。ITER的圆环形真空室，或者叫作托卡马克装置，可以将氢加热至超过2亿摄氏度——超过太阳核心温度的13倍，在其内部，氘发生聚变，形成氦和能量。没有任何物质能够容纳这种反应，所以它将被有史以来建造的最大的超导磁体系统限制在一个磁性“瓶子”中，冷却到绝对零度以上几度并且坐落在反应堆核心的下方。ITER将能够产生大约500兆瓦的功率——差不多相当于一座典型的燃煤电厂，持续时间达到1 000秒。

作为对比，2015年全世界花了3 250亿美元用以补贴化石能源。

不过，以上这一切的前提是一切按计划进行。自20世纪90年代初开始建设以来，ITER的建设进度一直落后于计划，并且几乎确定会进一步延误。机器的一些部件，例如中央螺线管（电磁铁），遇到了巨大且可能无法克服的制造上的难题。其他部件，如安全壳，也需要材料科学方面的进步，而这也可能是无法实现的。此外，该设计尚未被证明能够抑制等离子体中的湍流。即使这一切进行得都很顺利，ITER的设计运行时间还不到17分钟。但商业反应堆需要持续运作，而还没有人研究出怎样才能做到这一点。

一些对受控核聚变的前景持乐观态度的人认为，难题最终会被克服。其他人则满足于朝着这个目标迈出一小步，因为只要实现这个目标，就可以带来几乎无限的收益。在ITER工作的科学家将自己比作约克大教堂的石匠，这座大教堂花费了超过250年的时间才完成。因此，它可能被证明更像一项艺术或政治项目——一种希望的表达，以及利润丰厚的合同之源——而非我们有生之年的一个解决方案。但ITER并不是核聚变领域中唯一的项目。2016年，德国的文德尔施泰因7–X仿星器（形似一条巨大的莫比乌斯带）短暂地产生了少量氢等离子体。同样在2016年，中国宣称实验性全超导托卡马克装置已经将5 000万摄氏度的温度保持了102秒。许多其他各地的工程师，包括英国的托卡马克能源公司、美国的洛克希德·马丁公司和麻省理工学院的工程师都在研制比ITER小得多的模块化聚变反应堆设计，并声称他们将在2050年前开发出可靠的能源发电机。

无论核聚变反应堆能否研制成功，人类都一直能使用一台位于安全距离处的功率高达3.8×10^{37}瓦的热核电站——太阳，它运行的时限远远超出人类视野。从太阳涌出的能量大约只有千万分之一到达地球表面，但即使是其90分钟产生的能量值，也比人类在一年内使用的要多（且两倍于一年内能从地球上的所有煤，石油，天然气和铀中获得的能量）。浮游生物、藻类和植物捕获到的能量不到其千分之一，如果人类能够捕获这些其他生命形式所捕获能量的六分之一左右，我们就能够满足目前的能量总需求。

在很多情况下，太阳能技术已经具有可行性和竞争力。例如，太阳能集热器，即使用太阳发出的热量来驱动汽轮机运行的设备，现在已经在以中等规模运作。2016年在美国内华达州新月沙丘部署的太阳能集热器阵列能为75 000个家庭昼夜提供电力。当晚上没有太阳时，其白天产生的热量被储存在熔盐中并持续驱动汽轮机。

但迄今为止最吸引人的技术是光伏技术，简称PV，它使用诸如硅和锗之类的半导体将阳光转化为电能。它已经在以惊人的方式运作。2016年，完全由光伏供电的飞机——阳光动力2号已成功环游世界各地。与喷气式飞机

相比，这种飞机非常缓慢和笨重，但它从原理上证明了由光伏供电的电动机的可行性，而且前景光明：世界陆上加速度记录的保持者已经是电动汽车了，而看起来像改装过的无人机的飞行汽车也即将进入日常生活。太阳能电池板已经能在不到一年的时间内（且时间还在缩短）产出制造面板本身所需的能源，这意味着在它们20年或更长时间的寿命里，它们会产生丰富的无污染电力。相比之下，化石燃料燃烧排放的二氧化碳的累积辐射强迫[注]超过了释放能量的十多万倍。

然而，光伏的最大影响可能在发电方面。目前它的贡献很小：2016年它只占全球需求的约百分之一。但随着成本的迅速下降，这个数字可能会不断翻倍。一个百分点只需翻六番即可达到64%的市场份额。在世界大多数人居住的中纬度地区，光伏很可能成为能源格局的中流砥柱。在我撰写本书时，已签署的所有技术能源合同中最便宜的是2016年阿布扎比的一项太阳能交易。其价格定为每度2.42美分，而一家典型的新天然气发电厂定价为每度5.6美分。在将于2030年之前超过中国成为世界上人口最多的国家的印度，毕马威咨询公司的一项研究发现，即使考虑分配费用和电网整合成本，太阳能也足以与煤炭竞争，并且在将来会变得更加便宜。如果电池和其他能量存储系统在未来20年内可以负担得起且被广泛使用——这也是很多人相信的趋势，那么光伏的吸引力可能会变得非常大。克里斯·古多尔（Chris Goodall）在其剖析可再生能源革命《转变》（*The Switch*）一书中写道："电池看起来很快就会成为消除日常电力市场中高峰和低谷的最便宜的方式。这件事的影响不容忽视。在阳光充足的国家，这意味着太阳能加上存储技术将很快成为成本最低的能源。"阳光较少的地区，如北欧，可能需要另觅他法。古多尔建议，可以使用"电力—气体"（power-to-gas）的技术弥补电力短缺，将太阳充足或有风时使用光伏或风力发电产出的供过于求的电力用于制造氢气或甲烷，它们可以被储存起来供以后使用。

这种变化的影响是巨大的。大量廉价的、本地产的和自产的能源可供成千上万以前无法负担能源的人方便地获取。如果这种转变"以正确的方式"完成，权力和资本可以从企业和国家转移到公民手中。每个孩子都会有足够的光线去学习和玩耍，每个家长都能够保持家里每个人温暖（或凉爽），并吃得饱饭。商业的成本也将大大降低。这并不意味着所有的环境问题都得到了解决——尤其是因为大约三分之一的温室气体排放来自农业和砍伐森林等其他产业，且许多生态系统的退化或破坏可能还会继续——但这将是一个开始：这是走向经济学家凯特·雷沃思（Kate Raworth）称之为"再生经济"之路的一步。

"我们生活在资本主义中。它的权力无孔不在，如同过去的王权般神

圣。”——厄休拉·勒吉恩

可能光伏和储能加起来都不足以满足我们所有的能源需求。但还好，至少有一种太阳能技术也许有朝一日能提供充足的能源，且可以通过从大气中提取二氧化碳来降低气候变化的风险，那就是人造光合作用——模拟植物每天都在做的事情的系统。

当植物和其他生物体进行光合作用时，它们“吃”阳光，收集阳光的能量并将其储存在葡萄糖中。为了做到这一点，它们使用的原料是水和二氧化碳，排出水和氧气。光合作用基本上就是这个过程——虽然过程中的具体细节（特别是酶或催化剂的作用）很复杂，而且很难人工模拟。“这令人难以置信……一片叶子可以在常温常压下利用日光来产生氧气并固定碳，”美国斯坦福直线加速器中心国家加速器实验室的乌韦·贝格曼（Uwe Bergmann）说，“当你亲自尝试做这件事时，你就会越发感受到这是多么神奇。”

这只是奇迹的一小部分。光合作用始于叶子内部，位于被称为天线复合体的蔓延式结构中。天线复合体部分由叶绿素分子组成，正是这类分子赋予了植物绿色。

在阳光照射叶子的同时，光子撞击叶绿素分子，将电子从围绕镁原子的轨道中“敲”了出来。电子具有负电荷，因此失去电子的镁原子就成了带正电荷的镁离子。电子从原子中分离出来后，每个电子–离子对被称为激子，此时光子的能量已经被注入其中。

要有效地将光转换为电能，需要让激子在一路走向叶子深处的反应中心时一直保持着能量。激子的能量可以用来将水和二氧化碳分子中的组成原子重新组合成单糖和氧。保持激子能量的关键在于它传播到反应中心的方式。2007年，研究人员发现，一种量子现象帮助激子找到了方向。激子处于所谓的“相干状态”，而不是随机地碰撞一群叶绿素分子，直至它们碰巧到达目的地。这意味着，它们自身会同时散布在所有可能的路径上，然后沿最高效的路线钻出来。

相对而言，实验室的工作比较乏味，但它们并不是微不足道的。丹尼尔·诺切拉（Daniel Nocera）和麻省理工学院的一个团队在2011年创造了一片“人造树叶”。学界普遍认为，这项工作打开了突破口。它看起来不像一片树叶，也无法将水和二氧化碳转化为燃料，但其夹层结构的中心层确实能将阳光转化为电能，并将电能输送到外层。在外层，有催化剂促进氧和氢的形成，氢气可以被储存并用作液体燃料。诺切拉用于制作树叶的材料大多是廉价的，且都是广泛可获取的。事实证明，它比自然光合作用更高

效，并且能够连续工作45小时而不会降低活性。2016年，诺切拉和他的同事们表明，一种经过基因改造的细菌可以用从太阳能电池分解水的产物中提取的氢来生成异丙醇，一种有潜力的碳燃料。他们把这个系统称为仿生叶2.0，它能够以10%的效率将太阳能转化为生物质能，大约是生长最快的植物的10倍。

但关于人工光合作用，还有很长的路要走。迄今为止人工光合作用的所有方法需要的二氧化碳浓度都比大气中存在的二氧化碳——或者说，比大气中能安全存在的二氧化碳浓度高得多。有一种尚处于开发阶段的系统，可以挂在化石燃料发电站的烟囱上，或吸收之前通过其他方式收集并浓缩的大气二氧化碳。因此，尽管人工光合作用看起来已经成为一个严肃的命题，但目前尚没有方法能够做到普通植物数亿年以来的轻松工作。模拟并制造太阳可能很难，而模拟并制造最简单的叶子竟也难以置信地棘手。

空间即所在

很少有科技比太空探索更能激发人们的奇迹感和崇高感。这在诺曼·梅勒（Norman Mailer）关于阿波罗计划的著作《月亮上的火》（*Of a Fire on the Moon*，1970）的宗教图像中达到了一个早期的高潮（几乎但并未完全走下坡路），书中描写道："一艘细长的天国般神秘的太空船，分成了好几层……白如全世界一半教堂里的圣母像，从火的化身中升起。"但是随着20世纪60年代苏联和美国航天员的英雄业绩在20世纪70—80年代成为新的常态，太空探索的前沿转移到其他地方——尤其是新一代望远镜所拍摄到的景象。过去20多年来，空间望远镜拍摄到的孕育恒星的巨大尘埃云、正在爆炸的超新星和旋涡星系，都是前人未曾见过的景象。在哈勃空间望远镜（于1990年发射进入近地轨道且仍在运行）拍摄的众多图像中，最为世人熟知的可能是《深场》（*Deep Field*）和《创生之柱》（*Pillars of Creation*）。前者拍摄于1995年，展现了全天约四万分之一的面积——相当于在一百米远处看到的一个网球——其中约有**3 000**个与我们银河系尺寸相当的各色星系。天文学家早就知道这一点，但《深场》让我们都能看到并深刻感受到，太空是充满奇迹与美丽的无限领域。同年拍摄的《创生之柱》则聚焦于鹰状星云的一小部分，鹰状星云是位于我们银河系内部，距离我们约7 000光年远的一群年轻恒星。它展现了气体、尘埃组成的云团，被与新恒星形成相关的辐射照亮，形成壮观的颜色，其中一些新恒星非常像我们的太阳。该图像显示的区域比《深场》显示的区域小得多，但这片4光年见方（即40万亿千米×40万亿千米）的区域，仍然可以说是一个规模大到几乎难以想象的图景。

《极深场》（*eXtreme Deep Field*）是2012年发布的一个更新版本，

包含一个较小视野内的约5 500个星系。其中最微弱的星系只有人眼所能看到的亮度的一百亿分之一。

艺术评论家乔纳森·琼斯（Jonathan Jones）称这些来自外太空的图像为科学时代的西斯廷教堂。尽管这类照片可谓极其惊艳，但是随着观测天文学覆盖范围的逐渐扩大，未来几十年将出现更多的新图像，现在的这些迷人图景会显得黯然失色。在地面上，有着华丽名字的欧洲极大望远镜（E-ELT）已经在智利阿塔卡马沙漠中开始建设，它将于2024年投入使用，“看到第一束光”。这台望远镜有一座教堂那么大，其主镜直径将近40米，将比现有最大的望远镜多聚15倍的光。它将查看宇宙中最远的（因此也是最古老的）可见物体，促进我们对原始恒星、星系和黑洞的形成，以及星系如何在宇宙时间里演化的理解。它还将搜索绕行其他恒星的行星（天文学家称之为系外行星），并探索行星系统形成的最早阶段。



《极深场》，**2012年**

自2009年发射以来，开普勒空间望远镜已经确定有超过1 000颗系外行星存在，它们围绕着超过400颗恒星旋转，而地面望远镜也已经确定了另外2 000多颗恒星。如第4代开普勒行星模拟系统（*Kepler Orrery IV*）等视频模拟所示，迄今为止的整体情况具有很大的多样性。恒星的大小各不相同，行星也是如此，系外行星的“动物园”里有许多“野生动物”：各种各样的行星围绕恒星转动，速度差异也很大：慢的如同葬礼上的鼻涕虫，快的如同注射了安非他命的癫狂的仓鼠。事实证明，我们的太阳系在任何意义上都不属于一个典型的恒星系统。

> 迄今为止，我们发现的大多数系外行星都是通过其主星的运动和亮度中的异常而间接观测到的。只有少数（例如第6章描述的围绕HR 8799的4颗行星）可以直接成像。

例如，大小约为土星大小的行星开普勒–16b可能围绕着两颗恒星运动，就像《星球大战》中的塔图因一样。更令人惊叹的是HD 13199Ab，它在一个三星系统中运行——与刘慈欣的科幻三部曲中的三体世界不同，它的轨道是稳定的。GJ 1214b是一个温度很高的“水行星”，拥有水蒸气组成的大气、“热冰”海洋以及超流体水。那里很热，但不像开普勒–7b那样热——开普勒–7b是迄今为止发现的最热的行星，典型的白天温度可达6 860℃。COROT–7b也是温度极高的行星，那里的海洋不是水，而是岩浆，下的暴雨是熔融的镁、铝和铁。而在迄今为止发现的最冷的星球OGLE–2005–BLG–390Lb上，温度在–220℃左右，万物静止。TrES–2B也很安静，它反射的光不到入射光的百分之一，这使得它比煤炭更黑，没有人知道为什么。而2MASSJ2126–8140的特征是慢，它需要900 000年的时间才能绕它的恒星运行一周。相比之下，HAT–P–7b——一种每两天就绕恒星一圈的气态巨行星——上的强风则引发了灾难性的风暴，将刚玉（形成红宝石和蓝宝石的矿物）颗粒组成的云抛向整个大气层。在HD 189733b行星上，赤道周围的风带以每小时8 700千米的速度从白昼区向黑夜区行进。Gliese 436b是一颗“热海王星”，是地球质量的22倍，它有一个彗星般的尾巴，由蒸发的大气组成，长达1 400万千米。

目前发现的大多数系外行星跟我们所在的地球相比都是“巨人”。地球大小的行星尤其难以探测。当我开始写这本书的时候，很少有人会想到与地球相似的行星会很快被发现，更不用说拥有对生命有利条件的星球了。在我完成这本书的时候，这个前景似乎有点儿接近了：天文学家宣布发现了7颗地球大小的行星，环绕着距离我们仅有39光年的矮星TRAPPIST–1。这7颗行星都在恒星的宜居带内，即意味着其地表能够存在凉爽但未结冰的液态水。这些行星上的条件与地球上的条件不同，但不排除那里存在生命的可能，更重要的是，这么早就发现这么多条件合适的系外行星是一个有希

望的迹象。

TRAPPIST–1周围的行星与它们所围绕的相对较暗的恒星的距离比水星绕我们太阳转的距离更近，并且它们可能被潮汐力锁定了，即总是以同一侧面对其恒星。在人们认为最可能适宜居住的第五行星的运动轨道上，TRAPPIST–1的大小看起来大约是我们天空太阳大小的10倍。

詹姆斯·韦伯空间望远镜（亦简称为韦伯望远镜）可以极为有效地帮助我们寻找类似地球的行星，该望远镜计划于2018年发射[注]。其主镜直径6.5米，收集面积约为哈勃空间望远镜的5倍，采集光的范围从长波可见光（橙红色）至中红外光。但寻找系外行星绝非它的唯一任务：韦伯望远镜将为我们带来宇宙中形成的第一批恒星以及它们所属星系的清晰图像，这将大大提高我们对它们形成过程的认知。

另一座设备——先进技术大孔径空间望远镜（ATLAST），预计将在21世纪20年代中期建成，专门用来探索其他围绕恒星转的行星上是否存在生命。如果建成，ATLAST很可能被设计用于确定地球大小系外行星的大气、表面自转率、气候和宜居性。它甚至能够揭示云层覆盖情况和气候的变化，以及可能会有的地表植被的季节变化。这听起来令人印象深刻，但我们应该记住，ATLAST仍然只是一个开始：我们的星系横跨10万光年，而ATLAST最适合探测的对象是距我们不到140光年远的行星。

由欧洲空间局于2013年发射的盖亚（Gaia）卫星将绘制我们银河系中超过10亿颗恒星的精确位置和距离。这个数字听起来令人印象深刻，但只占银河系恒星总数的百分之一。

所有已建成的望远镜都捕获了可见光或电磁波谱的其他部分。基本上，我们一直在用这些巨型“眼镜”更详细和深入地观察太空。但现在，除了光以外，我们已经能以声音，甚至是音乐来感受宇宙。正如我在第1章中提到的那样，2016年，研究人员用激光干涉引力波天文台记录了一次特殊的天文事件，他们认为那是10亿光年外的两个黑洞的并合。未来，这样的系统可能会使人们有可能“听到”超新星爆炸深处（目前只能通过光看到它们的表面）的情况，探测中子星（除黑洞之外宇宙中最致密的物体），并以超出任何望远镜的可及范围探索有关早期宇宙的事物。

新的望远镜并不是太空探索唯一的前沿，还有一个切实去向哪里的问题。近期，随着2015年新视野号探测器飞掠冥王星和2016年朱诺号探测器木

星任务的成功，地球轨道之外的旅行看起来仍然会处于机器人航天器单向地进入太阳系不同部分的阶段。然而，要是看得更远一点，各种各样的事情都显现出了可能性。在我参加的一场演讲中，天文学家克里斯·英庇（Chris Impey）承认，长期预测可能是蠢人做的事，但他还是做出了几项长期预测。他提出，到2035年，商业产业将把大量游客带入地球轨道。到21世纪40年代，机器人航天器将在太阳系中探索一些难以触及的地方，如木卫二表层下的海洋，人类将在月球和火星上建立小型但充满活力的殖民地。大约在那时，将诞生第一个外太空婴儿——可能是地外物种的先行者。英庇提出，21世纪60年代，无人探测器就可以前往附近的恒星，如比邻星（**Proxima Centauri**）了。他还提出，到2065年，人类将开始大规模地开采月球和小行星上的矿藏，而在21世纪80年代，冯·诺伊曼探测器——可以使用现场发现的材料复制自己的太空探测器将开始前往邻近的恒星。2100年，人类将开始进行比分子大的物体的远距传送测试，到2120年，人类将成为“太阳系的主人”，掌握太阳系内的所有资源，并生活在几颗行星周围的卫星上。

星际旅行听起来像是很遥远的设想，但各种项目都在认真考虑如何在2100年前到达附近的恒星。突破摄星（Breakthrough Starshot）项目计划在几十年内将一台微型的计算机和相机发送至距离我们约4.25光年的比邻星。这艘飞船安装了超薄帆，将被地球上的激光加速到光速的五分之一，以便能在大约21年内到达恒星。然而，它无法将速度放得足够慢，也就无法捕捉到很多有用的数据。另有人提出了一种光引力辅助手段，可以在到达时减慢航天器的速度。

这些遥远的设想或许让人有点眼花缭乱。所以，在我们忘乎所以之前，到底什么是最有前景的、几乎可以肯定的、最令人兴奋的和貌似可行的冒险——一项火星载人任务？

或许我们已经有了明确的计划。NASA目前资助的研究包括：合成生物学体系，以对火星土壤进行解毒和改良，使其适应农业的要求；一个突破性的星际前驱任务推进体系；以及用“技能作用范围”（area-ofeffect）柔性机器人解体碎石堆小行星。

目前为止，已经有20多个无人飞行器成功地飞掠、绕行或着陆火星，并且至少有两个正经项目计划让人类到达那里。NASA表示，它计划在21世纪30年代发送宇航员绕行火星并返回地球，或将使用“猎户座”太空船与所谓的深空栖息地模块相结合。之后不久，人类就能在火星上着陆。我们还有科技巨头、亿万富翁埃隆·马斯克（Elon Musk）创立并领导的私人公司

SpaceX，他曾表示他能在NASA之前将人类送上火星。

如果这听起来有些浮夸或妄想，我们可以回想一下，SpaceX的确已经取得了一些卓越的成就。值得注意的是，该公司率先推出的可重复使用的发射系统，可能会极大地降低太空旅行的成本（发射的大部分成本在于火箭而不是燃料）。如果SpaceX真的可以开发出能够在火星上完全控制着陆且载重量大的系统，那么马斯克的设想就显得大半靠谱了。可以想象，无人航天器舰队能够在十年左右的时间内，将人类所需的庞大而沉重的生命支持系统运送至火星。当机器人建好一个可行的封闭栖息地时，人类将开始这一新的旅程。

在成功将人送往火星探险之前，我们还有很多待解决的技术挑战。以现有的技术推动力，乘坐例如NASA的猎户座或SpaceX的龙2号飞船飞往火星，单程都需要花费至少8～9个月的时间。飞船机组人员的条件将会很艰苦。挤在一个不比一辆SUV（运动型多功能车）大的飞行器内，他们会经历持续的机械噪声和振动、睡眠干扰、乏味和单调。另外，整个旅程中他们将处于微重力状态，因此骨量会流失，同时他们的肌肉，包括心肌，甚至控制眼球运动的小肌肉也会萎缩。他们的免疫、消化系统，血管和肺系统也会受到影响。在几天或几周内，深空的强烈宇宙辐射可能会对他们的身体和大脑造成显著损害，除非设计出有效的防护装置。在整个旅程中，机组人员需要保持设备在非常微小的误差范围内运行，使用尖端系统并随时准备处理可能出现的设备故障。如果说送人们上火星将会很难，那么让他们在火星表面生活只会更加艰难。这个星球寒冷、贫瘠、不适合生命生存。可能对人类来说，在深海殖民都比在火星表面更简单。在这里生存下来并返航地球，将是一项惊人的成就。

> 在撰写本书时，人们通常认为火星是无生命的，不过也有一些科学家认为，火星大气中的微量甲烷可能是由于其地下深处存在微生物所致。

一些梦想去火星的人想象的远不止是穿着宇航服、待在人造栖息地内的“走马观花”。至少在一代人之前，科幻小说的作者已经开始设想大规模改变这个星球上的条件，以使之成为另一个地球，具有流动的水和可呼吸的空气，这种设想被称为“星球改造”（terraforming）。显然，这个愿景如今已被大量积极参与开发火星计划的人（其中包括马斯克）所接受。这样一个巨大的行星工程项目能否实现仍是一个悬而未决的问题。一些研究表明，火星的气候有两个稳定点。其中之一就是火星目前的状态：有厚厚的极地冰盖，稀薄的大气和–60℃的平均地表温度。如果目前锁在土壤中的二氧化碳和其他气体被释放，另一状态可能在未来会出现：具有极薄的

极地冰盖和厚厚的大气，后者能保持从太阳吸收的热量，使表面温度达到15摄氏度左右——约为日常室温。星球改造者认为，使用氯氟烃或土壤里已有元素中的全氟化合物等“超级温室气体”，有可能在短短一百年内将气候从第一种状态推向第二种状态。一些人声称，几百年内便能在火星大气中添加足够的氧气以使其宜于吸入。

对于马斯克和其他星球改造的倡导者来说，火星不仅仅是伟大的探索前沿，它更是继复杂生命和意识出现之后，下一个合乎逻辑的进化步骤。人类在火星“生活”也相当于人类为自己投的一种保险：如果地球上的生命被破坏，火星上的可持续独立殖民地还可能继续存在。物理学家弗里曼·戴森（Freeman Dyson）用“挪亚方舟文化”一词将这一愿景扩展到星际旅行科幻电影的维度：在未来几百年里，生物技术将发展到可以设计和培育生物的全部生态环境（可能连生物化学机制都完全不同）的程度，以让我们适应在远离地球的偏远地区生存。航天器将把有生命力的种子送往行星、卫星和其他适合的地方——在这些地方，根据特定环境调整过的基因指令让生命能够生根。专为极端条件而设计的新的植物品种，可以被航天器外的镜子反射聚焦在它们身上的阳光或星光滋养，挪亚方舟社区得以繁荣兴旺。

“我们不是唯一的解决方案学项目创始主管胡安，”哈佛商学院生命科·恩里克斯（Juan Enríquez）说，“你可以为我们制造替代化学品，它们能够……适应一个非常不同的星球。”

这些想法在我看来非常奇怪，几乎近似疯狂。但是任何一个赞同我的观点的人都应该记住，个人怀疑论很少可靠。像马斯克和戴森这样的人比我聪明得多。将他们描述成以自我为中心的疯子，说他们试图影响宇宙，而不知道他们的行为会如何伤害他人，可能是不公平的。但仅仅靠可能性以及“技术上可行”，并不一定意味着这么做就是明智的。也有一些观点对太空殖民化提出了警告。其中之一是，把它当成优先事项是错误的。根据技术专家安德鲁·拉塞尔（Andrew Russell）和李·温塞尔（Lee Vinsel）的说法，殖民火星的提议是一种幻想，也是一个老旧且反复出现的社会问题的标志：富人梦想拥有一个属于他们自己的世界，而不是照顾地球和帮助满足穷人与弱势群体的需要。拉塞尔和温塞尔说，马斯克受到我们共同所在的世界的厌恶，因而开始梦想一个不存在的地方。这个结论对我来说过于苛刻了。例如，马斯克就可再生能源和储能技术进行了大规模投资。而且他不是一个贪图安逸的人。“我确信我有很好的梦想，”他在2016年的纪录片《看哪，互联世界的幻梦》（*Lo and Behold: Reveries of the Connected World*）中告诉维尔纳·赫尔佐克，“但我似乎记不得他们。我只记得噩梦。”

在亚历克斯·加兰（Alex Garland）2015年的电影《机械姬》（*Ex Machina*）中，天才CEO（首席执行官）内森·贝特曼（Nathan Bateman）像普洛斯彼罗一样，把自己与人类正常的生活隔绝开来，躲进一片看似迷人的乐土。然而，他却无法抑制他的胃口，造成了对他而言（或许对他的创作品而言也是）的灾难。

还有其他反对太空殖民化的声音。他们认为，哪怕一只小鸟的飞行也比地球外的我们已知的了无生气的宇宙让我们更愉悦，并感受到生命的价值，而如果人类向外扩展生命就不是这种情况了。不过，如果这样做会增加人类的恶习所影响的范围，其效应甚至超过我们的美德呢？亚里士多德认为，人类真正兴旺的生活是能够发展和运用某种美德，并最大限度地减少恶习。而哲学家罗伯特·斯帕罗（Robert Sparrow）认为，将火星改造成另一个地球可能产生相反的效应，尤其可能会放大我们对美的不敏感和狂妄自大等缺点。如果我们忽略了美，那么让火星成为人类的宜居地，将损毁或破坏其上许多极美的地表特征，其中包括深度有美国大峡谷7倍的峡谷系统，长度相当于整个美国，以及风和时间雕刻出的其他令人惊叹的风景。我们在地球表面离我们不远的地方就能看到过度傲慢自大带来的结果。明智的做法可能是，不完全停止对太空的探索，但要带着对现存事物的深刻尊重来进行探索，并在克制和有自我意识的条件下行动。我认为，这些特点最能引导奇迹。

一个重新构想的世界

在2015年夏天，谷歌公司的工程师向世界展示了一台会做梦的电脑。它的屏幕不断变换着涡卷形的颜色、旋转的线条、阴影和光线的波浪、扭曲的生物、伸展的面孔、浮动的眼球和其他正在生成的奇怪的形状，并无休止地转变为不断变化的形态。

没有人会认为这台使用了名为“盗梦”（Inceptionsim）的图像生成技术并由名为“深梦”（Deep Dream）的代码驱动的计算机实际上是有意识的。但这些图像确实表明，计算机在模仿人类大脑中发生的某些进程方面非常出色——在这种情况下，它模拟的是类似迷幻药引发的梦幻或幻觉——这一成果似乎标志着我们朝着机器在一个新方向上能做的事情又迈进了一步，也朝着一个新世界迈进了一步。

“幻觉”（hallucination）一词由托马斯·布朗于1646年左右提出，来自拉丁语alucinari，意为“在脑海中游荡”。

另一个先驱是人工智能围棋软件AlphaGo，它在2016年击败了世界围棋冠军李世石。早期的游戏计算机，如在1997年击败世界象棋冠军加里·卡斯帕罗夫（Gary Kasparov）的IBM的深蓝（Deep Blue），依靠人类程序员预先编写好的代码进行大量的数字处理。但由DeepMind公司（隶属于母公司谷歌）开发的AlphaGo能够自行学习。它没有像深蓝对象棋所做的那样，从一个基于对围棋的详细知识评估系统开始，而是通过分析数以千计的人类以前的棋局信息，并多次自己与自己对弈。AlphaGo通过数十亿轮微小的调整（每次调整都只实现微小的渐进式改变）创建了一个策略网络。而这反过来又帮助它建立了一个评估体系，该体系非常类似于优秀棋手对不同棋位价值的直觉。在冠军赛中，它取得了非凡的前所未有的飞跃。“（这）不是人类会下出的一步，”欧洲围棋冠军樊麾说，“我从来没有见过人类（像这样）下棋。非常精彩。”根据AlphaGo的估计，人类采取相同策略的概率只有万分之一，这种策略也与几个世纪以来人们所接受的智慧背道而驰。然而这一举措却是其胜利的关键。

关键的进步是“深度学习”（deep learning）：通过对大量数据的评估，AlphaGo自己生成了人类程序员并未事先详细指定的规则。早期的机器学习系统模拟大脑中的神经网络来处理信息，但仅由组织在一层中的几十或几百个人造神经元组成。而AlphaGo这样的系统可模拟数十亿个神经元，它们分布于单独的、分等级的层次中，就像人脑中的情况一样。正是这种相互关联的层次，让深度学习有了“深度”。它的网络有结点组成的层，用软件编码，每个结点都有一个数字权重或值，每个结点都连接着同样被加权的相邻结点。当它接收数据时就会受到训练，随后评估其执行情况。每当我们使用互联网或智能手机时，我们几乎都在为深度学习系统提供数据，免费将我们的数据泄露给系统提供商，让他们用于或好或坏的用途。

新系统的功能非常庞大，应用程序将会变得非常丰富。想想人脸识别：由社交网站公司Facebook（脸谱网）创建的算法“深脸”（DeepFace），识别出图像中的人脸的准确率可达97%，即使是在这些人脸有一部分被隐藏或光线昏暗的情况下。它的表现能与人类相媲美，甚至更好。微软声称，他们研发的数字私人助理“小娜”（Cortana）的对象识别软件，可以分辨出彭布罗克威尔士柯基犬的图片与卡迪根威尔士柯基犬的图片之间的区别，而这两种犬看起来几乎完全相同。微软鼓励小娜的用户允许小娜访问其所有的文件、电子邮件和应用程序，以便小娜了解用户并为其提供建议，同时成为代表用户兴趣的虚拟代理人。包括英国在内的一些国家已经将面部识别技术用于边境管制。（美国情报机构使用语音识别软件将电话转换为文本，以便更容易搜索其内容。）计算机阅读人类情绪和欲望的能力日益提高。只要你点击了大约300个赞，Facebook的算法就可以比你亲密的伴侣更好地预测你的意见和愿望。该公司近期收购的面部识别公司Faciometrics将使其能够精确地读取你的情绪。未来，配备了人脸识别和

生物识别传感器的平板电脑和其他设备，将知道是什么让你快乐、悲伤或生气。“书籍”阅读你的能力将会比你阅读它的能力强得多，并且会知道如何让你充满动力，如何让你萎靡不振。

> “VR世界将成为一个人被全盘监控的世界。”——凯文·凯利（Kevin Kelly）

再看看迄今为止与享有声望和有利可图的人类工作相关的复杂任务。2011年，IBM公司的沃森（Watson）计算机程序的一个版本击败了电视节目《危险边缘》（*Jeopardy!*）中的人类玩家，观众们都认为该节目是世界上最难的电视问答竞赛。但这仅仅只是一碟小菜。沃森技术现在正转向医疗保健，与人类医生相比，它在这方面具有相当大的优势。例如，沃森可以立即获取有关历史上每种疾病和每种药物的所有知识，并利用从世界各地的医院和诊所收集到的新研究和统计数据不断地更新自己的知识，以便为患者诊断和提供治疗。日本保险公司富国生命（Fukoku Life）在2016年底宣布，它正在采用基于沃森的系统，在病人出院前读取病人住院期间的医疗证明，并基于住院时长、病史及所有手术程序来结算账单。大约与此同时，全球最大的对冲基金公司桥水基金宣布，将在未来三到五年内采用人工智能做出投资决策。余下员工在企业中的作用是设计系统做出决定所需依照的标准，只在机器出错时才进行干预。

操纵物理对象的机器人的发展速度几乎和操纵数据的计算机一样快。本章开头描述的阿特拉斯机器人只是快速创新变得越来越可行的众多例子之一。2016年，一位机器人外科医生使用自己的视觉、工具和智能来缝合猪的肠道。在这个相对简单的任务中，人们认为它比人类外科医生做得更好。流入数百家公司的数十亿美元投资将改变制造业、农业、物流及其他产业部门，乃至军队。剑桥和苏黎世的一个研究小组已经开发出一种机器人系统，可以创造“婴儿”，能够在没有人工干预的情况下使其移动得越来越好。“母亲”机器人会评估“婴儿”能够移动的距离，并且在没有人为干预的情况下，改进设计，使得它创造的下一代“婴儿”能够移动得更远。在另一个项目中，机器人表现出类似动物的能力，可采取新的动作来应对损坏。在某些情况下，机器人被证明可以有效担任儿童和老人的保姆。栩栩如生的性爱说话机器人可能会在2018年[注]进入市场。支持者在谈论“Robogasm（机器人高潮）”，反对者则警示，这或将推动强奸甚至性奴文化发展的可能性。

关于人工智能的趋势将走向哪里的问题有许多，但我们可将它们归为以下几点：机器会发展出与人类相媲美的智能和能力，然后超越我们吗？如果会的话，后果是什么？还会有什么样的工作留给人类？在未来的世界里还

有位置留给我们吗？人们对此怀有疑惑，也抱有恐惧。

机器人将在某天匹敌人类并超越人类的想法已经不再新鲜。关于可能有的灾难性的后果，早就有人表达过忧虑。在1863年发表的一篇题为《机器中的达尔文》（*Darwin Among the Machines*）的文章中，小说家塞缪尔·巴特勒（Samuel Butler）明确地警告了这种命运。巴特勒的总结听上去像是19世纪版的“大学炸弹客”：“应该立即向他们宣战，进行殊死搏斗。每一种机器都应该被该物种的人道主义执行者毁灭……让我们立即回到物种的原始状态。”

然而，另一种观点则认为技术的长期贡献是良性的，能够让人类变得更新、更美好。在20世纪初，诸如火箭先驱康斯坦丁·齐奥尔科夫斯基（Konstantin Tsiolkovsky）这样的宇宙主义者认为，超然存在并非存在于遥远的天堂，而将在物质世界中实现。许多马克思主义者也认同此观点。列昂·托洛茨基（Leon Trotsky）在1923年写道：“人类……将会进入彻底变革的状态，并且在自己的掌控中，成为最复杂的人工选择和心理–体能训练方法的对象。”

> 据说，苏维埃秘密警察的第一代首脑之一，格列布·博基（Gleb Bokii）建造了一个实验室，他在此以佛教灵修方面的方法做实验，用于培养完美的共产主义者。

1929年，晶体学家J. D. 贝尔纳（J. D. Bernal），一位同样充满激情的马克思主义者，提出：“最终，意识本身可能会在一个已变得不朽的人类社会中终结或消失……成为太空中通过辐射进行交流的大量原子，最终也许会完全融于光线之中。”

拥有不同世界观的科学家们也提出了类似的想法。20世纪50年代，数学家约翰·冯·诺伊曼（John von Neumann）和斯坦尼斯瓦夫·乌拉姆（Stanisław Ulam）预言，“技术（向）奇点不断加速发展……超出这个范围后，我们所知的人类事物就（不能）继续。”冯·诺伊曼和乌拉姆是开发用于核武器的可编程机器的先驱，他们认识到，计算机是这场技术转型的关键，并引入了“奇点”（Singularity）这一术语来表示这场技术变革，这两项成果都保留至今。如今“奇点”一词在使用时常常大写“S’，且前面有定冠词。而某些评论家则认为，人造超智能的出现，及其引发的技术的飞速发展和超人类的未来，现在几乎是不可避免的。科学作家乔治·戴森表示，“我们的时代，已经成为某些事物的时代原型。”

> “在数字宇宙中演化的生物体将与我们有很大差异。对我们来说，它

们的演化看起来会变得越来越快，但对它们来说，我们的演化似乎在他们被创造出来的时候起就一直在减速——就像我们的宇宙在大爆炸后突然开始冷却一样。”——乔治·戴森

一些奇点论的预言者——他们现在更可能是自由意志主义者、技术公司CEO或亿万富翁，而不是社会预言家——与贝纳尔一样有着宗教一般的热情，并且对即将到来的时代充满狂热。2005年，现在是谷歌工程师的雷蒙德·库兹韦尔（Raymond Kurzweil）描述了一个绚丽而有影响力的图景，在这个图景中，奇点将会消除战争、疾病、贫困甚至死亡，并且带来“艺术、科学和其他形式知识的爆炸式增长……而这些将使生命真正地有意义”。革命有三重：首先，将会出现“彻底的富足”，原子尺度的精密制造，几乎可以使得所有物质产品的边际成本接近于零；药物和营养学方面的研究进展将大大延长人类的寿命；最终，人类能够将活人和被低温储存的刚刚过世的人的思想上传至计算机中保存。库兹韦尔写道，到**21**世纪中叶，人类将生活在比现实世界更加丰富和令人满意的沉浸式虚拟现实中。

奇点的前景让其他人非常紧张。2014年，著名科学家史蒂芬·霍金与其他有影响力的人一同警告道，人工智能和机器人的组合可能意味着人类的终结。苹果联合创始人史蒂芬·沃兹尼亚克（Stephen Wozniak）和埃隆·马斯克也表达了类似的担忧。连库兹韦尔现在也提出了一系列风险，中和了他的超乐观主义，并指出“人工智能本质上就是不可能控制的”。哲学家兼超人类主义者尼克·博斯特罗姆（Nick Bostrom）推测，由我们的疏忽导致即将出现的超级智能爆发将会宣告人类的末日，而亡羊补牢地建立“友好人工智能”的尝试可能会失败。

库兹韦尔预测，2030年前，人类将创造出与人类智慧相当的机器人，到2045年，先进的超级智能将与纳米技术和生物技术相结合，从而改变世界。《我们最后的发明》（*Our Final Invention*，2013）的作者詹姆斯·巴拉（James Barrat）对约200名研究人员进行的一项调查显示，他们中42%的人相信到2030年人们将创造出一种与人类认知能力相当的思维机器，25%的人认为这将在2050年发生，而20%的人则认为是在2100年。只有2%的人认为这永远不会发生。

不过，不管这些想法认为奇点是好是坏，很多技术专家和其他人认为这些后果如果真有的话，也不太可能在短时间内发生。其中包括戈登·摩尔（Gordon Moore），他提出的计算能力指数增长“定律”被库兹韦尔所引用，以证明他的观点。而微软的联合创始人之一保罗·艾伦（Paul Allen）则认为，人工智能领域远不存在加速回报的定律，其背后的科学已经陷入

了根本性的障碍中。怀疑论者认为，能够完成人类做的所有事情，甚至更多的“普通人工智能”或“强人工智能”的出现，需要高于目前格局的概念方面的突破（特别是找出“思想”真正的含义）和技术进步。他们还指出，过去对于超级智能机器人即将出现的预测，一再被证明是错误的。

“3到8年的时间内，我们将拥有一台有着普通人类平均智能的机器人。”——马文·明斯基（Marvin Minsky），1970

认知科学家玛格丽特·博登（Margaret Boden）说，人工智能研究教会我们的重要一课，是“人类心智比心理学家先前想象的要丰富得多，而且更微妙”。我们的大脑除了计算智能（与某些机器相比较为有限）之外，还有一系列功能，包括物理智能、社交和情绪智能，以及所谓的框架智能。根据博登和其他对奇点迫近持怀疑态度的人，所有这些都带来了巨大的难题。她用一个有趣的谜语解释了复制框架智能的难题之一：假设一个20岁的男人可以在一个小时内采摘10磅黑莓，而一个18岁的女人可以采摘8磅，如果他们一起去摘黑莓，能够摘多少？博登说，18磅不是一个合理的答案。他们可能摘得更多，因为他们都想炫耀，或者可能更少……原因可以想象。她说，框架问题之所以会出现，“是因为人工智能程序没有人类的相关度感”。

2016年3月，微软向社交网站Twitter推荐使用了一款基于人工智能的聊天机器人“泰伊”（Tay），研发者认为这款机器人在与人类互动时更聪明。但仅仅16个小时后，工作人员就不得不撤掉它，因为这个话匣子很快就开始拥护希特勒、否认大屠杀、提倡乱伦、宣扬阴谋论。这是因为它就像厨房用纸一样，吸收了它收到的恶劣信息并被这些信息塑造了。

物理学家理查德·琼斯（Richard Jones）十分理解人工智能对人类的吸引力，但他认为将人类思维上传至计算机的前景是一种妄想。他说，即使我们可以为运转的大脑绘制出线路图，这还不足以了解它是如何运作的。我们需要准确量化神经元如何在每个连接处相互作用，而这需要在分子水平的细节上进行理解，因为大脑中基本的计算单位不是神经元，甚至不是突触，而是分子。琼斯说，没有任何可能达到的计算机能力能够让我们模拟这一点。

那么，机器能否获得一些我们自认为令人类之所以为人类的特质，包括某些意识状态和有意识的社会行为呢？我们大概有充分的理由怀疑之，但是，完全否定彻底改变的可能性以及新“心智”形式的出现也是轻率的。很

快，神经形态的计算机（包含数百万个简单计算单元，与复杂变化的突触联网）可能会带来计算能力的跨越式发展。此外，量子计算机（其运行速度会比任何现有的经典计算机都快得多）和超图灵机（这类机器将超越通用图灵机，它能够达到内在随机性，一些计算机科学家认为该特性与真正的创造性智能相关）都开始变得切实可行。如果它们确实变成现实，我们可能便不得不想出比“6乘以7等于几”更好的问题来考一下深层思想系统（Deep Thought system）。

如果这些真的发生的话，与人类相当或优于人类的人工智能可能呈现出一种良性的姿态。心理学家尼古拉斯·汉弗莱（Nicholas Humphrey）用人类千年以来一直选择并培养成为仆人和同伴的“生物机器”——狗作为类比。人工超级智能可能像是戈雅（Goya）的画作《巨匠》（*The Colossus*）中的巨人，跨过田野，脚下满是逃跑的人群，但它最终更像一个友好的巨人。

> 理查德·琼斯列出了人们如此急于将大脑上传到计算机上的四个原因：（1）对于大脑的普遍隐喻的过度解释；（2）对技术发展速度过度乐观的预测；（3）没有思考清楚演化出的系统和设计出的系统之间的差异；（4）对死亡和被遗忘的恐惧导致的痴心妄想。

量子计算先驱戴维·多伊奇认为，真正的难题并不来自制造智能计算机。“善与恶观念之间的斗争自人类这一物种诞生就出现了，并且不管机器运行的硬件如何，这种斗争都将继续存在。问题是：我们希望善的智能可以击败邪恶的智能，（无论是）生物还是人工的。”然而多伊奇指出，问题在于，我们很容易犯错误，而且我们关于善的概念也需要持续改进。他说，如果要组织社会来促进这种改进，那么“奴役所有看起来不像我们的智能”就将是一个错误的答案。新创造的智能（人类或非人类）必须要能自己学习，并且在一定程度上自己掌控自己。

或许，关于人类在同时拥有*arete*（卓越）和*agápē*（慈爱）的新领域与其他智能合作的假设并不荒唐。在其他传统中，与后者类似的短语还有伊斯兰教苏非派的*Ishq*（无私之爱），以及佛教的*Mettā*（仁爱）。*Mettā*居于四种崇高状态（brahmavihāras）之首，其他三种则是同情、感同身受的喜悦和平静。达成这四种状态在我看来，像是一条相当美好的通往奇迹之路。

人类2.0

超级智能机器人和/或“后人类”可能需要几十年，几百年后才会出现，甚

至永远都不会出现。然而，在短期内，与计算机和机器人相关的最大难题仍然是它们对人与人之间以及人类与非人类世界之间的权力关系可能造成的改变。或者，正如网络开发者马切伊·切格瓦夫斯基（Maciej Cegłowski）所说的那样："机器学习中最紧迫的道德问题不是机器可能会变得有自我意识从而掌控世界，而在于人们会如何利用他人，或者一不小心将非道德行为引入了自动化系统该怎么办。"

首先，计算机程序和机器人可能会为武器和镇压系统的更重要组成部分。正如哲学家斯蒂芬·凯夫（Stephen Cave）所说的那样："（已经有机构在）认真投资研发可以杀死人类的人工智能。这会带来什么样的问题呢？"

> 2016年末美国国防视频和影像发布系统发布了一则视频，展现了由F–18喷气式战斗机部署的微型无人机群镜头下的事物，这一视频似乎预示了未来可能出现的景象。"哦，亲爱的上帝，他们真的尖叫着。"一位专业人士写道。我想起了但丁那句"丑恶的哈尔比……可怕的灾难即将来临"。

显然，会有很多问题。与自动驾驶汽车一样，自动化武器系统可能比人类操作更加安全可靠，不过它们也可能会杀了我们所有人。因为自动化武器系统同其他情况一样，也存在框架问题。这很像一个童话故事：一个渔夫许愿让自己当兵的儿子能够回家，结果这个愿望带回的只是儿子躺在棺材中的尸身，缺乏我们人类的相关性理解的AI（人工智能）系统做出的事可能会让我们感到惊讶。历史上就有这样的教训。在冷战期间的一些情况下，以及近来几次，自动化预警系统都建议进行防御性打击，以应对敌人可能发射的核导弹，多亏操作员在感知到更大的政治和人道主义背景的情况下，衡量风险，并确定警报很可能是虚假的，才保存了火力，避免了灾难。根据定义，具有更大自主权的武器系统将更少受此类检查的约束。

但是，最大的挑战看起来可能是智能系统和机器人对经济、就业及公民社会性质的影响。只要发生迅速的技术性转变，就会出现经济学家凯恩斯所说的技术性失业。欧洲和北美的农业机械化将数百万农业从业者从土地上驱逐至工厂里。后来，自动化和全球化又推动了工人从制造业转向新兴服务业。在转型期间，往往会出现失业问题，但大多数情况下，失业并不会成为系统性或永久性问题。失业的工人会找到新的工作机会，而且新的工作往往比他们以前的工作更好，第二次世界大战后的几十年内尤为如此。

未来学家马丁·福特（Martin Ford）在他2015年出版的《机器人的崛起》（*The Rise of the Robots*）一书中提出，这一次会有所不同。"我们，"他写

道，“正处于一个创新的爆炸式浪潮的边沿，这股浪潮终将产生几乎适用于所有可能的商业、工业和消费者需求的机器人。”这一次，受威胁的将不仅仅是那些需要很少的教育和技能的工作，任何基本可预测的工作都很容易实现自动化，其中包括金融、法律、医药和其他行业的许多（如果不是大多数）工作。此外，许多如今仍然由人类手工操作的工作将被机器人取代。即使是最后一步的工作，比如制作并呈上汉堡包，也会随着经济变化的大环境中消失，正如记者德克兰·巴特勒（Declan Butler）所说的那样，我们将会看到“相互之间交流比人类快上亿倍的机器人……以闪电般的速度在彼此的基础上积累知识”。

在2014年苹果公司智能手机iPhone 6发布后的18个月内，中国台湾地区制造商富士康用机器人代替了其在中国大陆一半以上的劳动力。

此外，福特说，这些发展建立在了发达经济体收入不平等的趋势之上，而这一趋势现在已经达到了自1929年以来未见的水平。在美国和其他富裕国家，总体国民收入中由劳动者创造的份额已经急剧下降，似乎还要继续呈自由落体状态下跌。在世界范围内，积累了大部分资本的那一小部分人口，正变得前所未有地富有而强大。“如果我们不承认并适应这一事实，”福特说，“我们可能会面临一场完美风暴，激增的不平等、技术带来的失业和气候变化带来的影响粗暴地同时展开，并在某种程度上相互放大和加强了。”

根据经济社会学家沃尔夫冈·施特雷克（Wolfgang Streeck）的说法，暴风雨已经来了：“自1945年以来，资本主义与民主的强迫式婚姻正在破裂。

作家和评论家约翰·兰彻斯特（John Lanchester）提出了避免让社会成为类似超资本主义反乌托邦的一种方法。他建议，许多新技术的所有权和控制权——或者至少是它们产生的利润——将被公共利益所管理或转让给公共利益。在这一愿景中，机器人将大多数人从艰苦工作（例如采矿、驾驶卡车和清洁厕所）中解放出来，而且，由于利益是公平分享的，大多数人在大多数时间都可以做他们喜欢的任何事情。“这将是经济学所描述的无限需求的世界，”兰彻斯特说，“但由人类所满足的需求和由我们的机器所完成的工作是不同的。”这也是威廉·莫里斯（William Morris）在《乌有乡消息》（*News from Nowhere*，1890）中所梦想的那种世界，人们都在从事有意义且报酬合理的工作，而不是毫无意义的苦差事。只不过多了一群机器人。我们可以认为，这真是一个美好的前景。兰彻斯特没有具体描

绘这种情境（有时称为全自动豪华共产主义）是如何产生的，但经济学家亚尼斯·瓦罗法基斯（Yanis Varoufakis）提出，可以给所有人提供一个普遍基本收入，该收入是由资本回报而不是税收提供的。不幸的是，其他一些不那么美好的发展轨迹同样有可能出现，比如彼得·弗雷斯（Peter Frase）称之为“灭绝主义”的社会——一种新型封建式噩梦，超富裕者牢牢占据了所有重要的生财手段，同时撤退到强化防御设施中，让机器人完成所有的工作，而其他人则只能在快速变暖的星球上争取一些蝇头小利。

对于某些人来说，这种社会可能已经来临了。记者迈克·卡特（Mike Carter）在英国脱欧前几周穿越英格兰，描述了典型的城镇中心的样貌：到处都是赌场，有几十家，每家赌场隔壁就是当铺或发薪日贷款机构。这是一种互利共生的可怕形式，是最有效的“自然”市场。

“早上打猎，下午捕鱼，傍晚从事畜牧，晚饭后从事批评，但并不因此就使我成为一个猎人、渔夫、牧人或批判者。”——卡尔·马克思（Karl Marx）

这种设施已经出现了。在美国堪萨斯州威奇托以北的一座前导弹发射井已被改造成名为“生存公寓”（Survival Condo）的豪华公寓，目标客户是担心文明崩塌的超级富豪。

在《未来简史》中，历史学家尤瓦尔·赫拉利描述了一个更加严酷的场景，他表示，技术可能会因其给人类带来的一切收获，导致我们所知道的人类终结。企业和军队需要智能，机器将为之提供越来越多的智能，但他们不需要意识。越来越多的人将变得更具经济性，但在政治上则毫无用处。然而，在此基础上更进一步的过程是瓦解。随着机器（及其背后的强大利益）对我们的认识比我们自己还深，并为我们做出越来越多的重要的决定，我们虚拟的“自由”自我会开始分裂。赫拉利提出：“个体不会被老大哥粉碎；它会从内部瓦解。”

好吧，也许是这样。但是，像这样暗淡的场景，至少部分是我们对自己时代的绝望的一种升华的表达，或是对未来的投射，在我们的时代，那些操纵他人，或是让别人丧失人性的人似乎往往占据上风。如果是这样的话，那么至少难点不仅仅在于技术问题，同样也是政治问题。毕竟，压迫已经成为人类社会的常规且常常占统治地位的特征，为解放而做的斗争从来不曾结束。

在唐纳德·特朗普当选美国总统之后不久，当“全世界……站在我们人类交响乐团前的指挥家脑中只有最低劣和最平庸的旋律”，小说家扎迪·史密斯（Zadie Smith）在德国观众面前表示，通向开放的、富有同情心的社会的进步从来不是永久的。她说，这种进步总是会受到威胁，如果要坚持下去，我们就必须加倍努力、重申目标、重新设想。在赫拉利强调人类内部矛盾和弱点的同时，史密斯反而赞许和庆幸我们的复杂性，甚至是我们纯粹的任性。“如果小说家只知道一件事，”她说，“那件事就是公民内部是多元化的：他们内部有各种各样行为的可能性。”

恐怖，兴奋，奇迹

我们有理由担心新技术的诞生，但也有理由庆祝。最近的进展已经带来了大量奇妙的新事物，未来还会有更多。就以预期寿命和健康方面的基本提升为例：直到大约200年前，还有约一半的孩子会因为一些如今已易预防的原因而在5岁前夭折。今天，多亏了环境卫生的改善、营养水平的提高和疫苗接种等基本技术，只有一小部分婴幼儿夭折，而且我们现在活得比过去任何时候都更长寿、更健康。我们可能还没有达到中世纪世界地图中的神话般的极北乐土之民的程度，他们没有争吵与疾病，想活多久就活多久，但我们大多数人比大多数祖先的寿命长得多，且肉体疼痛的发生率也大大降低。

> 如今，每年的儿童死亡人数已经比1990年减少了一半。如果死亡率保持在原来的水平，从1990年到2015年，死亡的5岁以下儿童要多出1.22亿。这并不表明所有地方的孩子都能够茁壮成长。在叙利亚，2016年，受重伤的、被杀的或被征入军的儿童数量急剧增加，7岁大的儿童被迫担任前线战士、监狱看守、自杀式炸弹袭击者以及刽子手。2017年初，数百万名儿童在也门、南苏丹和其他地方忍受着饥饿。

未来，生物技术和其他干预措施可能改变人类和整个生命网络最密切的结构。最值得注意的可能是CRISPR/Cas9技术的应用。这是一种基因编辑技术，可以比此前的技术更精确、更快地操纵任何生物的基因组，而且成本更低。其拥护者声称，这项技术有望治愈许多病毒导致的疾病、遗传疾病以及癌症，还可以运用在环境中以消除疟疾等疾病，疟疾每天会造成千名儿童死亡，并令许多儿童身体虚弱。CRISPR可以且很可能被用于各种动植物包括人类的基因修饰。这意味着会把不可逆转的变化引入基因库，以及人类很可能能够以远远超过传统育种技术的程度和速度引导演化过程。医生悉达多·穆克吉（Siddhartha Mukherjee）说：“我们将学会自己读写我

们自己（即我们的基本遗传密码）。”基因编辑的应用可以从消除遗传疾病开始，但总有一天它们的用途可能会被扩展到选择人类想要的与力量、智力和其他品质有关的性状（尽管在接下来的几十年中，人类可能更倾向于进行胚胎选择。）CRISPR和其他我们未曾想象过的基因编辑（基因创造）方法，甚至可能使从根本上延缓老化过程成为可能，从而使人们在常规情况下能够很好地生活100年甚至更长时间。

“现在是时候问问我们想让人类在接下来一两个世纪里如何发展了。”——胡安·恩里克斯

更多的评论家甚至写到了诸如人类利用基因工程长出翅膀这样的事情——这个想法表明了人类的飞行梦想，但它建议的这条路，坦白说，相当疯狂。或许，要想在短期内提高人类能力和洞察力，更合理的做法是新型肢体修复和物体植入技术。这些新技术将超越如今帮助残疾人士以某种方式来匹配标准人类能力的眼镜、起搏器、义肢等设备。新设备可能还会使我们的能力扩展到目前认为的正常水平之外，指北感测器（North Sense）就是一个简单的例子。它是一种硅胶做的小玩意儿，佩戴在胸前，当使用者面向正北时它就会振动。但事情可能会比这更进一步。例如，人们可能会开始植入“超级助听器”，使自己得以感知最轻微的声音，还有一些设备，可以使人看到超出肉眼可见光谱的电磁波，或者感知磁场。人类的欲望不会仅限于此。地球上所有的生物可能都能被以新的方式操纵。2017年初，研究人员证实，他们已经成功使用合成的DNA创造了微生物，其遗传编码中增加了两个新合成的基本单元。他们说，这种“半合成生命的稳定形式”将为实现“合成生物学的核心目标：创造（可编程的）新生命形式”奠定基础。

弗里德里希·尼采在19世纪80年代写道：“人类的伟大之处在于，人是一座桥梁，而不是一个终点。”没有人真正知道本章中构想的或在无数其他地方出现的场景中，哪一个会被证明是对未来更好的指导。也许我们应该少花一些精力去尝试预测未来，而是花更多的时间来提高自身适应各种情况的能力。最重要的是，我们要变得热情好客而勇敢，乐于接受奇妙又奇怪的事物。只要正确应用，技术不一定是敌人。它可以帮助我们不把事情当作理所当然，而是去探索、享受和捍卫一个充满了被诗人杰拉德·曼利·霍普金斯（Gerard Manley Hopkins）称为“对立、新颖、剩余、奇怪”事物的世界。

“好客的行为既古老又现代，是每一个故事的核心……否认它，就是否认人类所有的价值。”——约翰·伯杰

在展望未来的同时，我们也应该记住自己来自何处，牢记历史悲剧，并尽可能地将我们的意识扩展到人类历史之前和之后。在奇迹般的时刻，我们对事物投入深刻的关注，那一时刻因此而“变厚”，延展至过去和未来。在此刻，我们会同时感受到恐惧和兴奋，并认识到，正如博尔赫斯所写的那样：“时间是一条令我沉没的河流，而我就是河流；时间是一只使我粉身碎骨的老虎，而我就是老虎；时间是一团吞噬我的烈火，而我就是烈火。”对于我们这些没有处于难以承受的痛苦之中的人来说，生命是一份礼物，而在奇迹出现的时刻，我们似乎更能体会到这一点。如果我们有那么几年处于创作的旺盛时期，可能在很大程度上是因为我们既能够给予也能够接受。

“几个世纪以来，什么样的思维机器可以在由土地和水传递的缓慢的对话中找到自己的位置？”计算机科学家厄休拉·马丁（Ursula Martin）问道，“这种机器需要具备怎样的特质？”

我们这些生活在高度工业化社会的人可以向原住民学习。澳大利亚原住民在面对拥有更强大技术的入侵者时差点儿种族灭绝，而后幸存下来，保留了世界上已知最古老的故事，并在这些故事中表达了厚重的时间感，其中包括对与（例如）大约在一万年前发生的海平面上升相关的真实事件的记录。雍古族的一位长者加拉尔维·尤努平古（Galarrwuy Yunupingu）向现在居住在澳大利亚大陆的所有人和任何愿意倾听的人说：“让我们成为我们自己——现代世界的澳大利亚原住民——并为我们感到自豪。要承认我们已经经受过最糟糕的事情并且幸存下来了，而我们现在与我们的歌曲、我们的仪式、我们的土地、我们的语言以及我们的人民一同在这里——那是我们的完整身份。如果你选择接受我们，这将是我们可以给你的极好的礼物。”现在，他已接近生命的尽头，他看到了时间“奔流于水上，沿着蓝色的天际线向下移动，穿过地平线，仿佛它在投影仪屏幕上向我揭示了未来的肖像”。而在生命中的其他时候，他认为这个世界是一幅美丽的画，由大师之手创造，但现在已经破碎成千百块了，他试图把这些碎片重新拼凑起来：“重新将这张照片拼成它原本应是的样子——一张所有人都能看到的美丽图景。”

大约5万年前，澳大利亚被一群人占领。几千年来，他们遍布整个大陆，形成了独特的语言、文化和生理特征，并在这一过程中适应了极端天气和气候波动。

1. 辐射强迫（radiative forcing）是一个物理量，用于衡量某个因素对气候系统的影响。

2. 詹姆斯·韦伯望远镜的发射时间被推迟到了2021年3月。

3. 本书写作时间早于2018年。

后记

惊奇的人和他的影子

绝望往往是不成熟的。

丽贝卡·索尔尼特

在永远的存在的狂喜中，准备好成为一切。

托马斯·布朗

如果你到这里来，那么沿着你可能采取的路线，经过军事基地的大门，穿过一片有着曾经作为炮击训练目标的混凝土堡垒，而现在遍布荆棘、桦树和野玫瑰的平原，你会到达道路的尽头。就在一个临时停车点和一个不起眼的砖块区之外，柏油马路在海堤低低的丘上延伸，并在另一侧作为笔直坚硬的混凝土下沉，轻轻地倾斜一百码[注]左右，直到它消失在海中。一个多小时后，潮水退去，马普林沙滩向地平线伸展，远处的浪与天空几乎融为一体。这是不受限制的存在。

沙滩上有许多小路，如果你保持清醒的话，可以在洪流回归并将你卷走之前，沿着它们离海岸更远的地方安全地上岸。而在混凝土道路的尽头，有一根涂成亮绿色的金属杆，顶上有两个指向主要方向的带板条的金属三角形，它可以在你跑远时作为定位点。这根杆很高——约6米，且令人印象深刻。它可能是一个巨大的日晷仪的标杆，晷面是沙滩，也可能是一个被疯狂的幻想家竖立在彩虹触碰地球的地方的纪念碑，或者《等待戈多》中那棵孤树的超现实版本。但是标杆并不会告诉你要走哪条路，也不会告诉你的旅程是结束还是开始——或者说，你是在梦中，还是醒着。

在一个夏日的早晨，启程之前，我站在杆子旁边，短暂地感受到了自己20岁以来很少经历过的希望感和可能性。这是一种对世界的惊叹——一种生活不在其他任何地方，只在这处的感觉，尽管令人难以置信的美妙事物在地平线上不断地展开，你还是觉得生活只在这里，此时此刻。

精神病学家和哲学家卡尔·雅斯贝斯（Karl Jaspers）回顾他童年与父亲一起的一天时写道：“潮水已经退去，我们穿过沙滩上的小路沙子

的清新干净令我惊叹，难以忘怀，渐行渐远，渐行渐远……”

据报道，中世纪的朝圣者在到达目的地时，会将一面小镜子放在圣物上，一回家后便自豪地向家人和朋友们展示镜子，相信它保留了一些圣物的力量。这本书就像是那种镜子。哪怕陷入黑暗，我仍然倾向于对存在感到惊讶和惊奇，并希望分享这种惊讶和惊奇。“你从未真正地享受这世界，”托马斯·特拉赫恩写道，“直到你如此热爱并享受它的美好，甚至会贪婪而认真地劝说他人去享受它。”

路德维希·维特根斯坦认为，哲学的目的，是告诉苍蝇怎样飞出瓶子。好奇也是一样。但是瓶子外面的生活是怎样的？有时候我们会感觉自己没有准备好自由飞翔。安妮·迪拉德回忆了她在学校科学课上养的一只多音天蚕蛾。它从茧里出来，发现自己在一个玻璃罐子里面，罐子太小，因此它无法完全展开它新生的翅膀（通常张开后的宽度为15厘米，上有奇怪的眼状斑点）。当蛾子从罐子里被释放出来时，它的翅膀已经变干了，永远停留在了被瓶子限制而形成的扭曲形状，因此只能沿着地面爬行。就像诗人伊丽莎白·毕晓普以报纸上一个印刷错误的单词(注)为灵感创作的存在主义诗歌《人蛾》（*Man-Moth*）。他必须尽可能地爬高进行调查，但又害怕他必须做的事，随后失败，只能一次又一次地重复——在每天晚上被带入舷窗内的人工隧道后，做周而复始的梦。

我的大部分旅程都是在小圈子里或者死胡同中。但是我一直在继续旅行，而且在有些奇怪的时刻，我会无意中听到诗人路易斯·麦克尼斯（Louis MacNeice）所说的伟大存在。在日常生活里，我有时会在公园里简单地遛个弯儿。我很感谢能有机会用自己的双腿四处走走，因为尽管看起来在不停重复，没有两次散步是完全一样的。即使当我走在这片再熟悉不过的土地上时，脚下的岩石其实在沿着螺旋的路径运动，因为太阳在不断拉动着它，而太阳本身又在银河系中转动——一个自身正沿着被称为拉尼亚凯亚（Laniakea）超星系团（这个名字来自夏威夷语的“不可估量的天堂”）最远一条臂移动的星系。而当我们地球这一行星按照固定的引力定律转圈时，植物、光线的角度和颜色、温度、公园中此处此时的清晰度总是在变化。偶尔，特别是在光线明亮的日子里，会发生一些美妙的事情。

太阳系中的地球和其他行星绕着太阳运行的平面，与太阳绕银盘旋转的平面成63度角。所以，太阳每2.25亿年环绕一次银河系，而我们正沿着一条倾斜的螺旋形轨道运动。

在路上，我走过了一些白杨树。它们很高，有25米甚至更高，它们厚实

的，带着深深纹路和脊状棱纹的树干高耸在河边。一天晚上，我见到了它们从未有过的样子。那是7月初，这一天平静、温暖，非常明亮，太阳在天空中高高挂着，比正常情况下挂得更久，仿佛一天的结束和昼夜的循环周期都暂停了。柔和的微风吹拂着其他树木的顶端——赤杨木、柳树、橡树、山毛榉、白蜡树——但不足以将它们从梦中唤醒。但是，虽然那些在光线下闪耀的树几乎没有晃动，但白杨树的叶子在这最微妙的气息触碰中颤抖、低语、闪烁。它们看起来像动物一样鲜活，好像收集到了其他树木无法听到的信息，倾诉着本可能会被隐藏的话语。

> “因为做梦的现象并不是一个解决方案，而是许多。”——克里斯托弗·斯马特（Christopher Smart）

理查德·杰弗里斯写道：“奇迹在这处，不在彼处；在当下，不在将来，而且总是在当下。”听起来好像他是在说，奇迹只在当下存在而已。但我认为，更接近真相的是，奇迹扩大了意识的边界，使我们对过去、未来以及现在都可以体验得更加明确和更真实。在《忏悔录》中，圣奥古斯丁提出，时间不过是张力——可能是意识本身的张力。但在奇迹中，现在的时刻看起来是什么就是什么——是一种感知而不是现实，正如“地球是平的”是我们出于有限的感知能力产生的一种幻觉一样。处于好奇状态的头脑能将杨树叶一秒间多次的摇晃和闪烁（这是因为它们扁形的叶梗让它们在最小的阵风中都能摆动）与更长和更短的时间周期联系起来感知和理解。更长的时间周期包括几秒，这是树枝晃动和思想意识游移所需要的时间，还有白天和黑夜的周期，再到更长的周期，比如一年，以及树木长达百年的寿命。我们甚至可以通过夏日的空气中飘荡着的绒絮种子感知到超越这些单株树木寿命的时间——它们是未来繁茂的树木。

在阳光的冲撞下，绒絮也似卢克莱修微粒，也由此让我们想到平常想不到的短得多的时间尺度。在这些树的叶子内不断地发生着光合作用，叶细胞中叶绿体（光合作用的引擎）类囊体膜的反应中心内初始电荷分离发生在不到10^{-13}秒的时间内。10^{-13}秒与1秒的关系类似于1秒与31 688年的关系。因此，在这个时间尺度上，人类眼中飞快摇曳的杨树叶，在各种意义上都是静止的。然而，正是在这个时间尺度上，构建这些庞大而不朽的树木的过程才会发生。人们可以对这些树木引用莫里斯·梅洛–蓬蒂对保罗·塞尚（Paul Cézanne）绘画的看法——只有一种情感是可能的：陌生的感觉；也只有一种抒情方式：那就是不断重生。《小王子》的作者安托万·德·圣埃克絮佩里（Antoine de Saint-Exupéry）在撒哈拉的一座平顶山上迫降，并对那里散落的古代陨石感到惊叹，他可能是有史以来第一位见过这些的人类。“因此，我高高地站在我的‘雨量计’上，目睹了在高度压缩的时间范围内缓慢而激烈地倾下的流星‘雨’。”对于对此开放的思路而言，光子

与叶子的碰撞同样不可思议。

在公元前59年出版的诗歌《物性论》（*On the Nature of Things*）中，卢克莱修（Lucretius）赞美了哲学家德谟克利特所设想的现实，其中的一切都是由原子组成的，它们的运动可以根据阳光下跳舞的尘埃辨别出来。

有一种对时间的解释是认为它与熵有关。熵是大量振动着的原子表现出最有可能表现出的样子从而浮现出的性质。当原子之间互相碰撞甚至耗尽能量时，例如，当一杯咖啡的热量扩散到桌面和周围空气中时，熵就增加，即代表时间流逝。这个过程被称为耗散，在我们的宇宙中它只沿着一个方向发生：朝向日益增长的混乱。（这个解释提出了一个问题——为什么宇宙过去更有秩序？但它就是这样的）。生活通过在其他地方创造更多的混乱来提取出短暂的秩序。例如，一棵树从太阳光子流中提取秩序，并利用它们创造自身，同时向周围环境输出更大的混乱。思维创造秩序，包括过去和未来的地图，给人留下伫立于时间之外的印象，但它确实是在时间之内进行的。

熵或许也不能完全解释时间箭头的存在。有一种叫作“退相干”（decoherence）的量子现象也只能沿着时间流逝的方向发生，并且比耗散过程快速得多。对于空气中飘浮着的直径为0.01毫米的一粒尘埃或一颗小水滴来说，与空气分子的碰撞会在极短的时间内破坏它们内部原子的量子相干性。这个时间仅为光走过原子直径长度所需时间的10^{-12}，可比尘粒（或咖啡分子）中热量耗散的时间短多了。

闪烁的杨树叶也可以看作是宇宙起源、构造和持续运作的一项基本特征的例证。在我们所知道的最深的层次上，量子场是波动的。物理学家约翰·惠勒（John Wheeler）将量子场的波动与海洋表面泡沫微小的运动进行了比较——在飞机上的我们看不到，但它们仍然存在。物理学家史蒂芬·亚历山大（Stephon Alexander）表示，声音和振动从一开始就一直存在着，在构建物质方面扮演着不亚于光的角色。在生命体的自行更新方面，声音也起着基本性的作用：有一种振动被称为相干离域类声子模式，它是DNA的微妙属性之一，现在才开始引起关注。正如声学生态学家伯尼·克劳斯（Bernie Krause）的开创性工作所表明的那样，对生物体声音世界的密切关注可以帮助我们识别生命之网中由于栖息地退化和物种淘汰而丧失的成分，这样一来，我们便可以开始修复和共创更加智能、更有生命力、更有弹性的网络的进程。

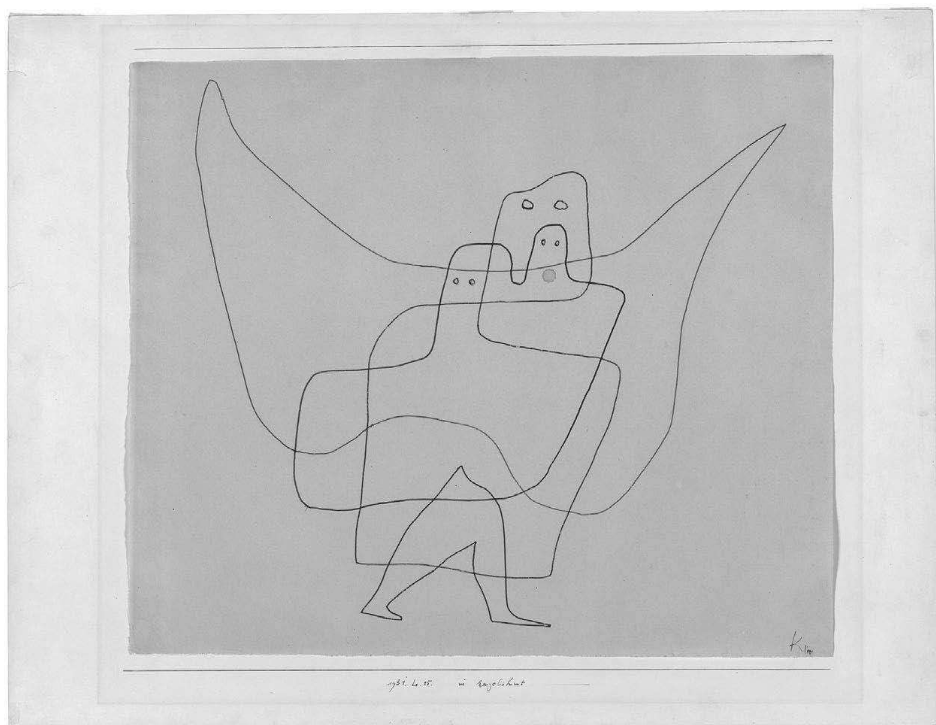
“每颗星星都是全音符。”——克里斯蒂安·莫根施特恩

这么做有什么用处？如果有一位天使在主宰我们的世界，它有时可能类似于瓦尔特·本雅明眼中的“历史的天使”，它在人类事件中只看到灾难，而不像阿尔布雷希特·丢勒的天使一样在寻找美丽。但我们可能会赌自己并不处于一个不可避免的陷阱之中。历史学家尤瓦尔·赫拉利关于历史的说法也适用于科学、艺术和那些既勇敢又善良的人的行为。“我们研究（它们）不是为了知晓未来，而是为了拓宽我们的视野，去明白我们目前的状况既不是自然出现的，也不是不可避免的，因此我们面前的可能性比我们想象的要多得多。”受朋友保罗·克莱1920年名为《新天使》（*Angelus Novus*）的画作影响，本雅明才产生了上述对天使的看法，但这可能不是我们唯一的选择。克莱的另一幅作品《在天使的关怀下》（*In Angel’s Care*），描绘了一位在不同形状之间变幻的守护天使。在我看来，他像是一位友好的、幽默的幻灵——是我们天性中更好的天使之一，它表明了许多可能性，并非都是坏的，有些甚至是有希望的。

“生活可以是美好的，也可以是可怕的，而我们将越来越有能力让生活变得美好。由于人类的历史可能只是刚刚开始，我们不妨期待未来的人类乃至超人类可能会获得一些我们现在无法想象的伟大物品。”——德里克·帕菲特（Derek Parfi）

哲学家马莎·努斯鲍姆（Martha Nussbaum）认为，好奇，有可能成为一种政治情感。让它成为我们生活中更重要的一部分，并且充满光明的宁静与平和，我们就更能够扩展对自己所生活的时刻的感觉，管理我们的焦虑和恐惧，并且超越愤怒，感受到更有前瞻性的精神的合理与慷慨。在恐惧和愤怒主宰公共生活的时代，对好奇的修行（askesis），即练习，前所未有地重要。

退潮时，马普林沙滩的大块区域仍然覆盖着一层薄薄的水面，反射出上方蓝色穹顶上的云朵，这样一来，徒步旅行者就可以同时脚踏陆地与天空。当我的影子滑过反射的天空时，我赤裸的双足感受到了沙子的质地和沙中的共振，而我的头脑中有着光明的梦。



我们生活在死亡和被遗忘的阴影中。即将到来的损失是真实的，并没有解脱，只有缓刑。但承认这一点并不意味着绝望。去深爱你不久后就注定要离开的生活吧，请唱出生命的歌谣。

---

1. 码，英美长度单位，等于3英尺，合0.914 4米。

2. 这个单词本为“mammoth”（猛犸象），印刷错误后变成“manmoth”（人蛾）。

致谢

感谢我的家人。感谢菲尔·布卢默和乔治·蒙比奥鼓励我进行创作。感谢我的经纪人詹姆斯·麦克唐纳·洛克哈特和我的编辑劳拉·巴伯。感谢格兰塔出版社和芝加哥大学出版社帮助这本书出版的所有工作人员。

感谢露西·康韦、埃迪·斯科特和茅屋计划。感谢博德勒图书馆的手稿和珍本图书部的工作人员。感谢基督城学院图书馆工作人员让我得以阅读理查德·伯顿的书。

感谢作家协会在拙作创作过程中提供的资助，它来得格外及时。感谢所有那些以大大小小的方式支持《奇迹地图》的人，包括梅格·伯林、罗伯特·巴特勒、伊恩·克里斯蒂、希拉·狄龙、克里斯·古多尔、戴维·霍夫、罗曼·克尔兹纳里奇、萨拉·莱尔德、佩德罗·莫拉·科斯塔、凯特·雷沃思、保罗·斯蒂加和玛丽娜·沃纳。

特别致谢：彼得·亚伯拉罕斯、丽贝卡·艾布拉姆斯、卡斯帕·阿迪曼、菲尔·阿格兰、马克·安东尼、索尼娅·安托兰斯·孔特拉、安东尼·巴尼特、理查德·贝里、马修·贝维斯、詹姆斯·布拉德利、马克·布里克曼、哈维·布朗、豪尔赫·卡瓦达斯、托马斯·卡伯特、苏珊·坎尼、乔·卡特梅尔、芭芭拉·卡萨代、梅拉妮·查林杰、尼克·康普顿、尼克·科普、塔恩·科普西、乔恩·科比特、朱利安·科蒂、米里亚姆·达林、萨莉·戴维斯、肯·狄克逊、阿西尼·唐纳德、丹尼·多林、史蒂夫·德拉蒙德、朱尔斯·埃文斯、马丁·伊万斯、尼克·福里斯特、查尔斯·福斯特、加文·弗朗西斯、达尔文·弗兰克斯、马歇尔·甘兹、萨姆·贾尔、埃德·吉莱斯皮、汤姆·戈罗、洛伦·格里菲斯、萨姆·古拉尼、乔恩·霍尔珀林、托马斯·哈丁、蒂姆·哈福德、罗杰·哈拉宾、丹尼斯·哈里森、本·亨尼格、朱迪丝·赫林、史蒂夫·希克斯、劳伦斯·希尔、伊莎贝尔·希尔顿、罗兰·霍德森、理查德·霍洛韦、萨拉·霍洛韦、芬·杰克逊、保罗·金斯诺思、朱斯蒂娜·科拉塔、查理·克罗尼克、萨莉·莱恩、安东尼娅·莱亚德、罗斯玛丽·李、约翰·莱茨、马克·莱纳斯、理查德·梅比、罗伯特·麦克法兰、阿拉斯泰尔·麦金托什、理查德·马登、兰布罗斯·马拉福里、阿尔贝托·曼格尔、皮帕·马兰、哈里·马歇尔、莫里·马丁、苏珊·米勒、弗兰·蒙克斯、休·奥斯本、玛丽亚·帕吉特、约翰·帕勒姆、斯图亚特·佩特森、简·佩德森、本·波普、马克斯·波特、马特·普雷斯科特、菲利普·普尔曼、戴维·派尔、卡尔蒂克·拉曼纳·亚当·拉姆齐、安德鲁·雷、菲利普·里德和曼合唱团、亚当·里奇、卡勒姆·罗伯茨、尼克·罗宾斯、奥利弗·鲁滨逊、亚兹安·罗马希、麦克·罗西、乔纳森·罗森、诺埃米·罗伊、凯莱布·沙夫、路易斯·施维茨格贝尔、迈克尔·西格尔、纳塔莉·肖、约翰·谢伊、伊恩·辛克莱、乔·史密斯、阿米亚·斯里尼瓦

桑、韦罗妮卡·斯特朗、约翰·萨瑟兰、巴拉斯·森德罗伊、汉尼·索恩、萨姆·汤普森、艾利森·蒂克尔、奥利弗·蒂克尔、彼得·特劳尼、玛雅·托多尔、多米尼克·泰勒、雷娜塔·蒂什丘克、弗兰·范戴克、朱尔·韦尔吉、蒂尔曼·沃格特、约翰·沃克、马丁·沃德、休·沃里克、克里斯托弗·惠伦、本·维尔莫、艾伦·温菲尔德、克里斯·伍德、安德烈亚·伍尔夫以及朱小小（音译）。

Aún aprendo[注]

---

1. 西班牙语，意为“我还在学习”。——译者注

参考文献

引 言

Bayne, Tim, et al. (eds.), 2014, *The Oxford Companion to Consciousness*, Oxford University Press
Beckert, Sven, 2014, *Empire of Cotton: A Global History*, Vintage
Berger, John, 2015, 'The Chauvet Cave Paintings' in *Portraits*, Verso (2015)
Bevis, Matthew, 2015, 'The Funny Thing About Trees', *Raritan*, vol. 34, no. 3 (winter 2015)
Bishop, Elizabeth, 'The Moose' in *The Complete Poems 1927–1979*, Farrar Straus and Giroux (1983)
Borchert, Till-Holger (ed.), 2013, *The Book of Miracles*, Taschen
Borges, Jorge Luis, 1977, 'Undr' in *The Book of Sand and Shakespeare's Memory*, Penguin Classics (2001)
Burke, Edmund, 1756, *A Philosophical Enquiry into the Origin of Our Ideas of the Sublime and Beautiful*, www.bartleby.com/24/2/
Burton, Robert, 1621–39, *The Anatomy of Melancholy*, NYRB Classics (2001)
de las Casas, Bartolomé, 1542, *A Short Account of the Destruction of the Indies*, Penguin Classics (1992)
Descartes, René, 1649, *Passions of the Sou*l, translated by Michael Moriarty, Oxford University Press (2015)
Deutsch, David, in a tweet to the author
de Waal, Frans, 2016, *Are We Smart Enough to Know How Smart Animals Are?*, Granta Books
Dillard, Annie, 1989, *The Writing Life*, Harper Perennial
Donne, John, 1611, 'An Anatomy of the World', *The Complete English Poems*, Everyman (1991)
Dostoyevsky, Fyodor, 1864, *Notes from Underground*, Penguin (1972)
Du Sautoy, Marcus, 2016, *What We Cannot Know*, Fourth Estate
Emerson, Ralph Waldo, 1844, 'The Poet' and 'Experience' in *Essays: Second Series*, reproduced in *The Essential Writings*, Random House (2000)
Evans, H. M., 2012, 'Wonder and the Clinical Encounter,' *Theoretical Medicine and Bioethics*, vol. 33, issue 2
Fisher, Philip, 1999, *Wonder, the Rainbow, and the Aesthetics of Rare Experiences*, Harvard University Press
Goodall, Jane, 2011, 'Waterfall displays', Jane Goodall Institute, 6 January 2011, https://www.youtube.com/watch?v=jjQCZClpaaY
Greenblatt, Stephen, 1988, *Marvellous Possessions: The Wonder of the New World*, Clarendon Press, Oxford
Harari, Yuval Noah, 2014, *Sapiens: A Brief History of Humankind*, Vintage Books
Hartle, James B., 2016, 'Why is Our Universe Comprehensible?', https://arxiv.org/abs/1612.01952

Heidegger, Martin, 1954, 'The Question Concerning Technology', Harper Perennial (2013)
Heisenberg, Werner, 1958, *Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science*, Penguin (2000)
Herzog, Werner, and Cronin, Paul, 2014, *Werner Herzog: A Guide for the Perplexed*, Faber & Faber
Hinton, David (ed. and translator), 2008, *Classical Chinese Poetry: An Anthology*, Farrar Straus and Giroux
Hölderlin Friedrich, 1800, 'Menon's Lament for Diotima' in *Poems & Fragments*, translated by Michael Hamburger, Cambridge University Press (1980)
Holmes, Richard, 2007, *The Reign of Wonder*, Harper Press
Hume, David, 1748, 'Of Miracles' from *An Enquiry Concerning Human Understanding*, Oxford World's Classics (2008)
Ingold, Tim, 2006, 'Rethinking the Animate, Re-Animating Thought', *Ethnos*, Vol. 71:1
Johnson, Samuel, 1759, *The History of Rasselas, Prince of Abissinia*, Penguin Classics (2007)
Johnson, Steven, 2016, *Wonderland: How Play Made the Modern World*, Riverhead Books
Kafka, Franz, 1915, *Metamorphosis*, Penguin Modern Classics (2015)
Kant, Immanuel, 1788, *Critique of Practical Reason*, Cambridge University Press (2015)
Ko Un, 'Sunlight' and 'The Snow Path', http://www.poemhunter.com/ko-un/poems/
Kurtág, György, 1985/6, 'Ziel, Weg, Zögern' from *Kafka-Fragmente*, Op. 24, Hungaraton (2005)
Lewis, Michael, 2016, *The Undoing Project*, W. W. Norton & Co
Méliès, Georges, 1904, *The Impossible Voyage*, Star Film Company
Merwin, W. S., 2017, 'On Reading What You Want, Reading it Slowly, and the Beauty of Trees', http://lithub.com/w-s-merwin-on-reading-what-you-want-reading-it-slowly-and-the-beauty-of-trees/
Mishra, Pankaj, 2015, 'How to Think about Islamic State', *Guardian*, 24 July 2015
Mishra, Pankaj, 2017, *The Age of Anger: A History of the Present*, Farrar, Straus and Giroux
Moore, Alan, 2016, *Jerusalem*, Knockabout
Panofsky, Erwin, 1943, *The Life and Art of Albrecht Dürer*, Princeton University Press (2005)
Parfit, Derek, 1998, 'Why Anything? Why This?', *London Review of Books*, 22 January 1998
Park, Katherine, and Daston, Lorraine, 1998, *Wonders and the Order of Nature: 1150–1750*, MIT Press
Paul-Choudhury, Sumit, 2013, 'Ice-age Art Hints at Birth of Modern Mind', *New Scientist*, 13 February 2013
Philips, Adam, 2014, 'The Art of Non-Fiction', *Paris Review*, Spring 2014
Reich, Steve, 1996, *Proverb*, Nonesuch Records
Rovelli, Carlo, 2015, *Seven Brief Lessons on Physics*, Allen Lane
Rubenstein, Mary-Jane, 2008, *Strange Wonder: The Close of Metaphysics and the Opening of Awe*, Columbia University Press
Rubenstein, Mary-Jane, 2012, 'Heidegger's Cave: On Dwelling in Wonder' in Vasalou, Sophie (ed.), *Practices of Wonder: Cross-Disciplinary Perspectives* (2012)

Rutledge, Rob B., 2014, 'A Computational and Neural Model of Momentary Subjective Well-Being', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, no. 33
Savage-Smith, Emilie, et al., 2004, 'Medieval Views of the Cosmos: Mapping Earth and Sky at the Time of the Book of Curiosities', Bodleian Library, University of Oxford
Schulz, Bruno, (before 1942), 'Treatise on Tailors' Dummies', in *The Street of Crocodiles and Other Stories*, Penguin (2008)
Sebald, W. G., 1985, *Die Beschreibung des Unglücks*, Residenz Verlag
Sebald, W. G., 1995, *The Rings of Saturn*, Vintage
Shelley, Percy, 1821, *A Defence of Poetry*, http://www.bartleby.com/27/23.html
Smolin, Lee, 2013, *Time Reborn*, Houghton Mifflin Harcourt
Steppenbeck, D. et al., 2013, 'Evidence for a New Nuclear "Magic Number" from the Level Structure of ^{54}Ca', *Nature* 502
Tegmark, Max, 2014, *Our Mathematical Universe*, Random House
Thomas, Lewis, 1983, 'Seven Wonders' in *Late Night Thoughts on Listening to Mahler's Ninth Symphony*, Viking Press
Thoreau, Henry David, 1862, 'Walking', *The Atlantic*, June 1862
Thurber, James, 1957, *The Wonderful O*, NYRB Children's Collection (2009)
von Uexküll, Jakob, 1934, *A Stroll Through the Worlds of Animals and Men: A Picture Book of Invisible Worlds*, http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic514568.files/StrollThroughTheWorlds.pdf
Walker, James W. P., David T.G. Clinnick & Jan B.W. Pedersen, 2016, 'Profiled hands in Palaeolithic art: the first universally recognized symbol of the human form', *World Art*, 24 November 2016
Weitzel, Hans, 2004, 'A Further Hypothesis on the Polyhedron of A. Dürer's Engraving *Melencolia I*', *Historia Mathematica*, vol. 31, issue 1
Wigner, Eugene, 1960, 'The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences', *Communications in Pure and Applied Mathematics*, vol. 13, no. 1
Wilczek, Frank, 2015, *A Beautiful Question: Finding Nature's Deep Design*, Allen Lane
Wootton, David, 2015, *The Invention of Science: A New History of the Scientific Revolution*, Penguin
Worth, Robert F., 2016, 'In the Attic of Early Islam', NYRB Daily, 24 August 2016, http://www.nybooks.com/daily/2016/08/24/in-the-attic-of-early-islam-shihab-al-din-al-nuwayri/

第 1 章　彩虹和星星——光

Ackermann, M., et al., 2016, 'Measurement of the High-Energy Gamma-Ray Emission from the Moon with the Fermi Large Area Telescope', https://arxiv.org/abs/1604.03349
Adams, John Luther, 2014, *Become Ocean*, Ludvic Morlot & Seattle Symphony Orchestra, Cantaloupe
Adams, John Luther, 2015, *Canticles of the Sky: Sky with Four Suns*, Northwestern University Cello Ensemble, Cold Blue

Al-Khalili, Jim, no date, 'Top Five Weird Physics Facts', http://www.jimal-khalili.com
Berman, Bob, 2011, *The Sun's Heartbeat: And Other Stories from the Life of the Star that Powers Our Planet*, Little, Brown and Company
Boyer, Carl B., 1987, *The Rainbow: From Myth to Mathematics*, Princeton University Press
Britten, Benjamin, 1937, letter to Henry Boys cited in Reed, Philip (ed.), *On Mahler and Britten*, Boydell & Brewer (1998)
Buson, 'The short night . . .' in *The Essential Haiku: Versions of Basho, Buson, & Issa*, translated by Robert Haas, Ecco Press (2012)
Castelvecchi, Davide, 2016, 'Hawking's Latest Black-Hole Paper Splits Physicists', *Nature*, 27 January 2016
Castelvecchi, Davide, 2017, 'How to hunt for a black hole with a telescope the size of Earth' *Nature*, 22 March 2017 and 'Imaging and imagining black holes', *Nature*, 28 March, 2017
Chirimuuta, Mazvita, 2015, 'The Reality of Color Is Perception', Nautilus (website), 23 July 2015, http://nautil.us/issue/26/color/the-reality-of-color-is-perception
Cowen, Ron, 2013, 'Simulations Back Up Theory that Universe is a Hologram', *Nature*, 10 December 2013
Cowen, Ron, 2014, 'Quantum Bounce Could Make Black Holes Explode', *Nature*, 17 July 2014
Daston, Lorraine, 1999, 'How to Make a Greek God Smile', *London Review of Books*, 10 June 1999
Dickens, Charles, 1836, *The Pickwick Papers*, Everyman (1999)
Dillard, Annie, 1982, 'Total Eclipse' in *Teaching a Stone to Talk*, Harper and Row
DiMeo, Nate, 2014, 'The Glowing Orbs', The Memory Palace (podcast), episode 61, 7 June 2014
Donne, John, 1633, 'The Good-Morrow' in *The Complete English Poems*, Everyman (1991)
Eno, Brian, 2012, *Lux*, Warp
Feynman, Richard, 1983, 'How Mirrors Turn You Inside Out' from *Fun to Imagine* (television series), BBC Television, http://www.bbc.co.uk/archive/feynman/10703.shtml
Feynman, Richard, 1985, *QED: The Strange Theory of Light and Matter*, Princeton University Press
Gleick, James, 2003, *Isaac Newton*, Harper Perennial
Goethe, Johann Wolfgang von, 1810, *Theory of Colours*, https://theoryofcolor.org
Green, Lucie, 2016, *15 Million Degrees: A Journey to the Centre of Our Sun*, Penguin
Handel, George Frideric, 1713, 'Eternal Source of Light Divine' from *Ode for the Birthday of Queen Anne*, HWV 74
Hawking, Stephen, 1988, 2008, *A Brief History of Time*, Bantam Press
Jefferies, Richard, no date, 'Thoughts at Dawn', https://richardjefferies.wordpress.com/2015/10/26/thoughts-at-dawn/
Kant, Immanuel, 1755, *General History of Nature and Theory of the Heavens* in *Kant: Natural Science*, Cambridge University Press (2012)
Koberlin, Brian, 2015, 'How the Universe Made the Stuff That Made Us', Nautilus (website), 14 January 2015, http://nautil.us/blog/how-the-universe-made-the-stuff-that-made-us

Krauss, Lawrence M., 2015, 'What Neutrinos Reveal', *New Yorker*, 8 October 2015
Kurtág, György, 1973, 'Play with Infinity' from *Játékok*, Bugallo–William piano duo, Wergo (2015)
Kurtág, György, 1994, *Stele*, Op. 33, Claudio Abbado, Berliner Philharmoniker, Deutsche Grammaphon (1996)
Leach, Amy, 2013, *Things That Are: Encounters with Plants, Stars and Animals*, Canongate Books
Ligeti, György, 1985, Etude No. 5, *Arc-en-Ciel*, Piano Etudes Book 1, *Jeremy Denk Plays Ligeti/Beethoven*, Nonesuch (2012)
Lightman, Alan, 2014, *The Accidental Universe: The World You Thought You Knew*, Corsair
Mahler, Gustav, 1909, *Das Lied von der Erde*, Otto Klemperer/Christa Ludwig/ Fritz Wunderlich, EMI Classics (1964–6)
Merali, Zeeya, 2013, 'Did a Hyper-Black Hole Spawn the Universe?', *Nature*, 13 September 2013
Miłosz, Czesław, 'Late Ripeness', *New and Collected Poems 1931–2001*, HarperCollins
NASA Goddard, 2013, 'Fiery Looping Rain on the Sun' (video), https://www.youtube.com/watch?v=HFT7ATLQQx8
NASA Jet Propulsion Laboratory, 'Juno's Approach to Jupiter' (video), 4 July 2016, https://www.youtube.com/watch?v=kjfQCTat-8s
NASA Solar Dynamics Observatory, 2015, 'Thermonuclear Art – The Sun in Ultra-HD' (video), https://www.nasa.gov/mission_pages/sdo/videos/index.html
NASA Solar Dynamics Observatory, 2015, 'Year 5' (video), http://www.nasa.gov/content/goddard/videos-highlight-sdos-fifth-anniversary
Newton, Isaac, 1675–76, 'The Analogy of Nature', letter to Mr Oldenburgh, quoted in Jennings, Humphrey, *Pandaemonium 1660–1886: The Coming of the Machine Age as Seen by Contemporary Observers*, Icon Books (1985, new edition 2012)
Newton, Isaac, 1704, *Opticks: Or, A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflexions and Colours of Light*, quoted in Manzotti, Riccardo, 'The Color of Consciousness', *New York Review of Books*, 8 December 2016
Noe, Alva, 2014, 'In Search of a Science of Consciousness', NPR (website), 30 December 2014, http://www.npr.org/blogs/13.7/2014/12/30/373952810/in-search-of-a-science-of-consciousness
Owen, Wilfred, 1918, 'Futility', https://www.poetryfoundation.org/poems-and-poets/poems/detail/57283
Palczewskaa, Grazyna, et al., 2014, 'Human Infrared Vision Is Triggered by Two-Photon Chromophore Isomerization', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, no. 50
Perkowitz, Sidney, 1998, *Empire of Light*, Henry Joseph Press
Perkowitz, Sidney, 2011, *Slow Light*, ICP
Pullman, Philip, 2014, 'William Blake and Me', *Guardian*, 28 November 2014
Ramm, Benjamin, 2016, 'Birobidzhan – The Worst Good Idea Ever?', openDemocracy (website), 16 December 2016, https://www.opendemocracy.net/od-russia/benjamin-ramm/birobidzhan-worst-good-idea-ever
Reed, A. W., 1982, *Aboriginal Myths and Legends*, Reed Books

Ross, Alex, 2013, 'Water Music', *New Yorker*, 8 July 2013
Rovelli, Carlo, 2016, *Reality Is Not What It Seems: The Journey to Quantum Gravity*, Allen Lane
Scharf, Caleb, 2012, *Gravity's Engines*, Allen Lane
Scharf, Caleb, 2014, *The Copernicus Complex,* Allen Lane
Solnit, Rebecca, 2005, *A Field Guide to Getting Lost*, Penguin
Sommer, Andrei P., et al., 2015, 'Light Effect on Water Viscosity: Implication for ATP Biosynthesis', *Scientific Reports* 5, article no. 12029
Strang, Veronica, 2014, 'Wonderful Light: Affect and Transformation in Engagements with Light and Water', paper presented at ASA Decennial Conference, 19–22 June 2014, Edinburgh
Tabakova, Dobrinka, 2014, 'Einstein Considers Light as Waves, and Light as Quanta', sung by Opus Anglicanum, http://www.opus-anglicanum.com
They Might Be Giants, 1993, 'Why Does the Sun Shine? (The Sun is a Mass of Incandescent Gas)', Elektra
They Might Be Giants, 2009, 'Why Does the Sun Really Shine? (The Sun is a Miasma of Incandescent Plasma)', Disney Sound/Idlewild
Thoen, Hanne H., et al, 2014, 'A Different Form of Color Vision in Mantis Shrimp', *Science,* 24 January 2014
Thomas, Edward, 1917, 'Lights Out', https://www.poetryfoundation.org/poems-and-poets/poems/detail/57199
Thoreau, Henry David, 1862, 'Walking', *The Atlantic*, June 1862
Tinsley, Jonathan N., et al, 2016, 'Direct Detection of a Single Photon by Humans', *Nature Communications* 7, article no. 12172
Tuan, Yi-fu, 1968, *The Hydrologic Cycle and the Wisdom of God: A Theme in Geoteleology*, University of Toronto Press
Van Helden, Albert, et al., 1995, 'Galileo's Sunspot Drawings', *The Galileo Project*, Rice University
Wald, George, 1968, 'The Molecular Basis of Visual Excitation', *Nature*, vol. 219, issue 5156
Walser, Robert, 1914, 'Remember This', translated by Tom Whalen, *New York Review of Books*, 1 September 2016
Wang Wei, 'Deer Fence', translated by Burton Watson, in Weinberger, Eliot, 2016, *19 Ways of Looking at Wang Wei (With More Ways)*, New Directions
Wheeler, John Archibald, 1986, 'Hermann Weyl and the Unity of Knowledge', *American Scientist*, vol. 74, no. 4 (July–August 1986)
Whitman, Walt, 1855, 'I Sing the Body Electric' from *Leaves of Grass* in *The Complete Poems,* Wordsworth Poetry Library (1995)
Young, Thomas, 1804, 'Bakerian Lecture: Experiments and Calculations Relative to Physical Optics', *Philosophical Transactions of the Royal Society* 94

第 2 章　宇宙之光聚合成发光体——生命

Aeschylus, 430 BC, *Prometheus Bound*, Penguin Classics (2001)
Ball, Philip, 2009, *Nature's Patterns: A Tapestry in Three Parts*, Oxford University Press

Ball, Philip, 2017, 'The Computational Foundation of Life: How Life (and Death) Spring from Disorder', Quanta Magazine (website), 26 January 2017, https://www.quantamagazine

Ball, Philip, 2017, 'The Computational Foundation of Life: How Life (and Death) Spring from Disorder', Quanta Magazine (website), 26 January 2017, https://www.quantamagazine.org/20170126-information-theory-and-the-foundation-of-life/

Bell, Elizabeth A., et al., 2015, 'Potentially Biogenic Carbon Preserved in a 4.1 Billion-Year-Old Zircon', *Proceedings of the National Academies of Science*, vol. 112, no. 47

Berry, Drew, 2011, 'Animations of Unseeable Biology', talk given at TEDx Sydney, https://www.ted.com/talks/drew_berry_animations_of_unseeable_biology

Bianconi, Eva, et al., 2013, 'An Estimation of the Number of Cells in the Human Body', *Annals of Human Biology*, vol. 40, issue 6

Bradford, Charles M., et al., 2011, 'The Water Vapor Spectrum of APM 08279+5255', *The Astrophysical Journal Letters*, vol. 741, no. 2

Browne, Thomas, 1658, *Hydrotaphia, Or Urne-Buriall*, NYRB Classics (2012)

Chown, Marcus, 2013, *What a Wonderful World*, Faber & Faber

Coleridge, Samuel Taylor, *Biographia Literaria*, quoted by Richard Holmes in 'A Meander through Memory and Forgetting' in Wood, H. H., and Byatt, A. S. (eds.), *Memory: An Anthology* Chatto & Windus (2008)

Cope, Nick, 2011, 'It Rains the Same Old Rain' from *My Socks*, Nick Cope Music

Deamer, David W., 2011, *First Life: Discovering the Connections between Stars, Cells, and How Life Began*, University of California Press

Engel, Gregory S., et al., 2007, 'Evidence for Wavelike Energy Transfer through Quantum Coherence in Photosynthetic Systems', *Nature*, vol. 446, 12 April 2007

European Southern Observatory, 2014, 'Revolutionary ALMA Image Reveals Planetary Genesis' (eso1436 – photograph release), 6 November 2014, http://www.eso.org/public/unitedkingdom/news/eso1436/

Evelyn, John, 13 December 1685, quoted in Jennings, Humphrey, *Pandaemonium 1660–1886: The Coming of the Machine Age as Seen by Contemporary Observers*, Icon Books (1985, new edition 2012)

Futera, Zdenek, et al., 2017, 'Formation and Properties of Water from Quartz and Hydrogen at High Pressure and Temperature', *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 461

Gershenfeld, Neil, 2015, 'Digital Reality', Edge (website), 23 January 2015, http://edge.org/conversation/neil_gershenfeld-digital-reality

Goldblatt, C., et al, 2010, 'The Eons of Chaos and Hades,' *Solid Earth*, 1, 1–3,http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20100036717.pdf

Goodsell, David S., 2009, *The Machinery of Life*, Springer

Hazen, Robert, 2005, *Genesis: The Scientific Quest for Life's Origins*, Joseph Henry Press

Hazen, Robert, 2012, *The Story of the Earth*, Viking

Herzog, Werner, and Oppenheimer, Clive, 2016, *Into the Inferno*, Matter of Fact Media et al.

Hoffman, Peter H., 2012, *Life's Ratchet: How Molecular Machines Extract Order from Chaos*, Basic Books

Hooke, Robert, 1665, *Micrographia*, gutenberg.org

Hunter Waite, J. et al., 2017, 'Cassini finds molecular hydrogen in the Enceladus plume: Evidence for hydrothermal processes', *Science*, 14 April 2017, vol. 356, issue 6334

Jacobson, H., et al., 2014, 'The Chemical Evolution of Phosphorus', *The Astrophysical Journal Letters*, vol. 796, no. 2
James, William, 1890, Chapter IX: 'The Stream of Thought' in *The Principles of Psychology*, Dover Publications (2000)
Jamie, Kathleen, 2012, 'Wind' in *Sightlines*, Sort of Books
Jansson, Tove, 1946, *Comet in Moominland*, Puffin Books (1967)
Jegla, Timothy, et al., 2015, 'Major Diversification of Voltage-gated K+ Channels Occurred in Ancestral Parahoxozoans', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 112, no. 9
Kassin, Susan, et al., 2012, 'The Epoch of Disk Settling: $z \sim 1$ to Now', *The Astrophysical Journal*, vol. 758, no. 2
Kauffman, Stuart, 1997, *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*, Oxford University Press
Kircher, Athanasius, 1665, *Mundus Subterraneus*, Bodleian Libraries special collections
Lane, Nick, 2009, *Life Ascending*, Profile
Lane, Nick, 2015, *The Vital Question: Why Is Life The Way It Is?*, Profile
Lorenz, Ralph D., and Zimbelman, James R., 2014, *Dune Worlds: How Windblown Sand Shapes Planetary Landscapes*, Springer Praxis Books
Mallick, Terrence, 2016, *Voyage of Time*, Broad Green Pictures and IMAX Corporation
Medical Research Council, MRC Mitochondrial Biology Unit, 'Molecular Animations of ATP Synthase' (video), http://www.mrc-mbu.cam.ac.uk/projects/2248/molecular-animations-atp-synthase
Ménard, Phia, and Compagnie Non Nova, 2011, *L'après-midi d'un foehn*, http://www.cienonnova.com
Monbiot, George, 2013, *Feral*, Allen Lane
NASA, 2015, 'NASA Ames Reproduces the Building Blocks of Life in Laboratory', 3 March 2015, http://www.nasa.gov/content/nasa-ames-reproduces-the-building-blocks-of-life-in-laboratory
NASA, 2017, 'Experiments Show Titan Lakes May Fizz with Nitrogen', 15 March 2017, https://www.nasa.gov/feature/jpl/experiments-show-titan-lakes-may-fizz-with-nitrogen/
Noji, H., et al., 1997, 'Direct Observation of the Rotation of F1-ATPase', *Nature*, 20 March 1997
Petrov, Anton S., et al., 2014, 'Evolution of the Ribosome at Atomic Resolution', *Proceedings of the National Academies of Science*, vol. 111, no. 28. See also 'The Origin and Evolution of the Ribosome' on YouTube
Plait, Phil, 2009, 'Are Humans Brighter Than the Sun?', *Discover Magazine*, 30 December 2009, http://blogs.discovermagazine.com/badastronomy/2009/12/30/are-humans-brighter-then-the-sun/#.WS2RgLA2yNo
Plantlife, 2015, 'Welsh Woodland as Vulnerable as Tropical Rainforest?' (press release), 28 May 2015
Poe, Edgar Allan, 1841, 'Descent into the Maelstrom' in *Complete Tales and Poems*, Race Point Publishing (2014)
Porchia, Antonio, 1943, *Voices*, translated by W. S. Merwin, Copper Canyon Press (2003)
Ralser, Markus, et al., 2017, 'Sulfate Radicals Enable a Non-Enzymatic Krebs Cycle Precursor', *Nature Ecology & Evolution 1*, 13 March 2017

Russell, Michael J., et al., 2013, 'The Inevitable Journey to Being', *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 10 June 2013
Sacks, Oliver, 2008, 'Darwin and the Meaning of Flowers', *New York Review of Books*, 20 November 2008
Schuergers, Nils, et al., 2016, 'Cyanobacteria Use Micro-optics to Sense Light Direction', *eLife*, 9 February 2016
Seymour, Jamie E., 2004, 'Do Box Jellyfish Sleep at Night?', *Medical Journal of Australia*, vol. 181, no. 11/12
Shepherd, Nan, 1977, *The Living Mountain*, Canongate (2011)
Sutherland, John D., et al., 2009, 'Synthesis of Activated Pyrimidine Ribonucleotides in Prebiotically Plausible Conditions', *Nature*, vol. 459, 14 May 2009
Sutherland, John D., et al., 2015, 'Common Origins of RNA, Protein and Lipid Precursors in a Cyanosulfidic Protometabolism,' *Nature Chemistry* 7
Wade, David, 2007, *Li: Dynamic Form in Nature*, Wooden Books
Walker, John E., et al., 1994, 'Structure at 2.8 A Resolution of F1-ATPase from Bovine Heart Mitochondria', *Nature*, vol. 370, 25 August 1994
Welland, Michael, 2009, *Sand: A Journey Through Science and the Imagination*, Oxford University Press
Whitehouse, David, 2015, *Journey to the Centre of the Earth*, Weidenfeld & Nicolson
Witze, Alexandra, 2016, 'Giant Tsunamis Washed Over Ancient Mars', *Nature*, 19 May 2016
XVIVO Scientific Animation for BioVisions at Harvard University, 'The Inner Life of a Cell' (video), http://www.xvivo.net/animation/the-inner-life-of-the-cell/
Yasuda, R. et al., 2001, 'Resolution of Distinct Rotational Substeps by Submillisecond Kinetic Analysis of F1-ATPase', *Nature* 410
Young, Edward D., et al., 2016, 'Oxygen Isotopic Evidence for Vigorous Mixing during the Moon-Forming Giant Impact', *Science*, vol. 351, issue 6272

第 3 章　30 亿次跳动——心脏

Adler, Jerry, 2015, 'Why the Leatherback Turtle Has a Skylight in its Head', *Smithsonian Magazine*, January 2015
Anversa, Piero, 2006, 'Life and Death of Cardiac Stem Cells: A Paradigm Shift in Cardiac Biology', *Circulation,* vol. 133, issue 11
Bear, I. J., and Thomas, R. G., 1964, 'Nature of Argillaceous Odour', *Nature*, vol. 201
Berger, John, 2015, 'About Song and Laughter', *Sunday Feature*, BBC Radio 3, May 2015 and *Confabulations*, Penguin (2016)
Bird, Geoffrey et al., 2017 'From heart to mind: Linking interoception, emotion, and theory of mind', *Cortex*, 2 May 2017
Boon, B., 2009, 'Leonardo da Vinci on Atherosclerosis and the Function of the Sinuses of Valsalva', *Netherlands Heart Journal*, vol. 17, no. 12
British Heart Foundation and Resuscitation Council UK, 2014, 'Consensus Paper on Out of Hospital Cardiac Arrests', https://www.bhf.org.uk/~/media/files/publications/ohca-consensus-paper.pdf

Byrne, David, et al., 1980, 'Once in a Lifetime' from *Remain in Light*, Talking Heads, Sire
Cage, John, 1952, *4′33″*, Edition Peters 6777
Clayton, Martin, and Philo, Ron, 2011, *Leonardo da Vinci: Anatomist*, Royal Collection Publications
Costandi, Mo, 2014, 'The Man Who Grew Eyes', *Guardian*, 26 August 2014
Davies, Jamie A., 2014, *Life Unfolding: How the Human Body Creates Itself*, Oxford University Press
Deakin, Roger, 2015, 'Fragments' in *Granta* 133: What Have We Done, autumn 2015
Eggers, Dave, 2013, *The Circle*, McSweeney's
Emslie, Karen, 2016, 'Riding the Wind', Aeon (website), 21 January 2016, https://aeon.co/essays/how-the-wind-blows-us-on-and-off-life-s-course
Falconer, Tim, 2016, 'Everything We Can't Describe in Music', Hazlitt (website), 15 April 2016, http://hazlitt.net/feature/everything-we-cant-describe-music
Fisher, Roger, 1980, 'Preventing Nuclear War', *The Bulletin of the Atomic Scientists*, vol. 37, no. 3
Flajnik, Martin F., and Kasahara, Masanori, 2010, 'Origin and Evolution of the Adaptive Immune System: Genetic Events and Selective Pressures', *Nature Reviews Genetics* 11
Fludd, Robert, 1618, *De Musica Mundana*, Bodleian Library
Fludd, Robert, 1621, *Utriusque Cosmi,* Bodleian Library
Francis, Gavin, 2015, *Adventures in Human Being*, Profile
Frisén, Jonas et al, 2009, 'Evidence for Cardiomyocyte Renewal in Humans', *Science,* vol. 324, issue 5923
Frohlich, Joel, 2016, 'The Fugue of Life: Why Complexity Matters in Physiology and Neuroscience', Knowing Neurons (website), 3 February 2016, http://knowingneurons.com/2016/02/03/why-complexity-matters-in-physiology-and-neuroscience/
Gessen, Masha, 2014, 'The Dying Russians', *New York Review of Books*, 2 September 2014
Graff, Simon, et al., 2016, 'Long-Term Risk of Atrial Fibrillation after the Death of a Partner', *Open Heart*, vol. 3, issue 1
Haskell, David George, 2017, *The Songs of Trees: Stories from Nature's Great Connectors*, Viking
Hepper, P. G., et al., 1994, 'Development of Fetal Hearing', *Archives of Disease in Childhood*, vol. 71, no. 2
Hickok, Gregory, 2009, 'Eight Problems for the Mirror Neuron Theory of Action Understanding in Monkeys and Humans', *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol. 21, no. 7
Hughes, Timothy S., 2003, *Groove and Flow: Six Analytical Essays on the Music of Stevie Wonder* (doctoral dissertation), University of Washington
Hume, David, 1739–40, *Treatise of Human Nature*, Penguin Classics (1985)
Gawande, Atul, 2014, 'Why Do Doctors Fail?', 2014 Reith Lectures, BBC Radio 4, 29 November 2014, http://downloads.bbc.co.uk/radio4/transcripts/2014_reith_lecture1_boston.pdf
González-Crussi, F., 1989, *The Five Senses*, Harcourt, Brace, Jovanovich
González-Crussi, F., 2009, *Carrying the Heart*, Kaplan
Jiménez, Juan Ramón, 'Full Consciousness', translated by Robert Bly, from *Lorca and Jimenez: Selected Poems*, Beacon Press (1973)

Knausgaard, Karl Ove, 2012, *My Struggle Book 1: A Death in the Family*, Harvill Secker
Konvalinka, Ivana, et al., 2011, 'Synchronized Arousal between Performers and Related Spectators in a Fire-Walking Ritual', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 108, no. 20
Lasky, Robert, et al., 2005, 'The Development of the Auditory System from Conception to Term', *Neoreviews*, vol. 6, issue 3
Long, Matthew C. et al, 2017, 'Finding forced trends in oceanic oxygen', *Global Biogeochemical Cycles*, 29 February 2016
Morgenstern, Christian, *Aphorisms on Nature*, excerpts translated by Douglas Robertson, in *Reliquiae*, vol. 4, Corbell Stone Press
NASA, 2012, 'Perpetual Ocean' (video), http://www.nasa.gov/topics/earth/features/perpetual-ocean.html
Nawroth, Janna C., et al., 2012, 'A Tissue-Engineered Jellyfish with Biomimetic Propulsion', *Nature Biotechnology*, vol. 30, no. 8
Park, Yong Keun, et al., 2009, 'Metabolic Remodelling of the Human Red Blood Cell Membrane', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, no. 4
Peto, James (ed.), 2007, *The Heart*, Yale University Press
Poon, Chi-Sang, and Merri, Christopher K., 1997, 'Decrease of Cardiac Chaos in Congestive Heart Failure,' *Nature*, vol. 389
Ramón y Cajal, Santiago, 1897, *Advice for a Young Investigator*, MIT Press (2004)
Reich, Steve, 1972, *Clapping Music*, Universal Edition
Roberts, Alice, 2014, *The Incredible Unlikeliness of Being: Evolution and the Making of Us*, Heron Books
Robinson, Kim Stanley, 1993, *Red Mars*, Spectra/Bantam
Saladin, Kenneth S., 2004, *Anatomy and Physiology: The Unity of Form and Function*, 3rd edition, McGraw Hill
Strogatz, Steve, 2003, *Sync: How Order Emerges from Chaos in the Universe, Nature, and Daily Life*, Hachette Books
Svevo, Italo, 1923, *Zeno's Conscience*, Everyman (2001)
Wells, Francis C., 2014, *The Heart of Leonardo*, Springer
Whitfield, John, 2006, *In the Beat of a Heart: Life, Energy and the Unity of Nature*, Joseph Henry Press
Willis, Allee, and Lind, Jon, 1979, 'Boogie Wonderland', performed by Earth, Wind and Fire, featuring The Emotions, Atlantic Record Company/Columbia Records
Witek, Maria A. G., et al., 2014, 'Syncopation, Body-Movement and Pleasure in Groove Music', *PLOS One*, 16 April 2014
Wright, Thomas, 2012, *Circulation: William Harvey's Revolutionary Idea*, Vintage
Xygalatas, Dimitris, 2014, 'Trial by Fire', Aeon (website), 19 September 2014, https://aeon.co/essays/how-extreme-rituals-forge-intense-social-bonds

第 4 章　头部的超级物体——大脑

Ackerman, Jennifer, 2016, *Genius of Birds*, Penguin
Attanasi, Alessandro, et al., 2014, 'Information Transfer and Behavioural Inertia in Starling Flocks', *Nature Physics* 10

Auden, W. H., 'Heavy Date' in *Collected Poems*, Faber & Faber (2004)
Bach, J. S., 1726–30, Partitas for Keyboard BWV825-830, Igor Levit, Sony (2014)
Ball, Philip, 2008, 'Cellular Memory Hints at the Origins of Intelligence', *Nature*, vol. 451, issue 7177
Bede, *c.*731, Chapter 13: 'A Sparrow's Flight' in Sellar, A. M. (ed.), *Ecclesiastical History of the English People*, George Bell & Sons (1907)
Blake, William, 1794, 'Europe: A Prophecy' in *Complete Poems*, Penguin Classics (1977)
Böhm, Jennifer, et al., 2016, 'The Venus Flytrap *Dionaea muscipula* Counts Prey-Induced Action Potentials to Induce Sodium Uptake', *Current Biology*, vol. 26, issue 3
Bor, Daniel, 2012, *The Ravenous Brain: How the New Science of Consciousness Explains our Insatiable Search for Meaning*, Basic Books
Brenner, S., et al., 1986, 'The Structure of the Nervous System of the Nematode *Caenorhabditis elegans*', *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, vol. 314, no. 1165
Browne, Thomas, 1643, *Religio Medici*, New York Review Books (2012)
Calvino, Italo, 1959, *The Baron in the Trees*, Vintage Classics (1992)
Carter, Rita, 2000, *Mapping the Mind*, Phoenix
Chakrabortee, Sohini, 2016, 'Luminidependens (LD) is an Arabidopsis Protein with Prion Behavior', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, no. 21
Chalmers, David, 1995, 'Facing Up to the Problem of Consciousness', *Journal of Consciousness Studies*, vol. 2, no. 3
Chung, Kwanghun, and Deisseroth, Karl, 2013, 'CLARITY for Mapping the Nervous System' *Nature Methods*, vol. 10, no. 6
Churchland, Patricia, 1996, 'Does Consciousness Emerge from Quantum Processes?', *Times Higher Education Supplement*, 5 April 1996
Clancy, Kelly, 'The Strangers in Your Brain', *New Yorker*, 17 October 2015
Clark, Andy, 2015, *Surfing Uncertainty*, Oxford University Press
Colapinto, John, 2015, 'Lighting the Brain: Karl Deisseroth and the Optogenetics Breakthrough', *New Yorker*, 18 May 2015
Cole, Andy A., et al., 2016, 'A Network of Three Types of Filaments Organizes Synaptic Vesicles for Storage, Mobilization, and Docking', *The Journal of Neuroscience*, vol. 36, issue 11
Cook, Gareth, 2015, 'Sebastian Seung's Quest to Map the Human Brain', *New York Times*, 11 January 2015
Costandi, Mo, 2006, 'The Discovery of the Neuron', Neurophilosophy (website), 29 August 2006, https://neurophilosophy.wordpress.com/2006/08/29/the-discovery-of-the-neuron/
Costandi, Mo, 2016, 'Nerve Terminal Nanofilaments Control Brain Signalling', *Guardian*, 2 April 2016
Costandi, Mo, 2016, *Neuroplasticity*, MIT Press
Cox, Trevor, 2014, *Sonic Wonderland*, Bodley Head
Crick, Francis, 1979, 'Thinking about the Brain', *Scientific American*, vol. 241, issue 3
Crick, Francis, and Koch, Christof, 2005, 'What is the Function of the Claustrum?', *Philosophical Transactions of the Royal Society*, vol. 360, issue 1458
Darwin, Charles, 1880, *The Power of Movement in Plants*, John Murray

Day, Brian L., and Fitzpatrick, Richard C., 2005, 'The Vestibular System', *Current Biology,* vol. 15, issue 15
Deacon, Terrence, 2011, *Incomplete Nature: How Mind Emerged from Matter,* W. W. Norton & Co.
Dehaene, Stanislas, 2014, *Consciousness and the Brain: Deciphering How the Brain Codes Our Thoughts*, Viking
Doidge, Norman, 2007, *The Brain That Changes Itself,* Penguin
Doidge, Norman, 2012, *The Brain's Way of Healing*, Penguin
Du Sautoy, Marcus, 2015, *What We Cannot Know,* HarperCollins
Eagleman, David, 2015, *Brain*, Pantheon Books
Einstein, Albert, 1950, Letter to Robert S. Marcus, lettersofnote.com
Emerson, Ralph Waldo, 1836, *Nature*, James Munroe and Company; available at http://www.emersoncentral.com/nature.htm
Emery, Nathan J., and Clayton, Nicola S., 2004, 'The Mentality of Crows: Convergent Evolution of Intelligence in Corvids and Apes', *Science,* vol. 306, issue 5703
Emes, Richard D., and Seth, G. N., 2012, 'Evolution of Synapse Complexity and Diversity', *Annual Review of Neuroscience*, vol. 35
Epstein, Robert, 2016, 'The Empty Brain', Aeon (website), 18 May 2016, https://aeon.co/essays/your-brain-does-not-process-information-and-it-is-not-a-computer
Erwin, Jennifer A., et al., 2014, 'Mobile DNA Elements in the Generation of Diversity and Complexity in the Brain', *Nature Reviews Neuroscience* 15
Eskelinen, Holli C., 2016, 'Acoustic Behavior Associated with Cooperative Task Success in Bottlenose Dolphins', *Animal Cognition*, vol. 19, issue 4
Everett, Daniel, 2015, 'A Cultural Context' (response to the question 'What do you think about machines that think?'), Edge (website), http://edge.org/response-detail/26103
Feldman Barrett, Lisa, 2016, 'The Predictive Brain' (response to the question 'What do you consider the most important recent [scientific] news? What makes it important?', Edge (website), https://www.edge.org/annual-question/2016/response/26707
Field Museum, 2013, 'Field Museum Scientists Estimate 16,000 Tree Species in the Amazon' (press release), 17 October 2013, http://www.eurekalert.org/pub_releases/2013-10/fm-fms101413.php
Fisher, Matthew P. A., 2015, 'Quantum Cognition: The Possibility of Processing with Nuclear Spins in the Brain', *Annals of Physics* 362
Foster, Charles, 2016, *Being A Beast,* Profile
Gibson, William T., 2015, 'Behavioral Responses to a Repetitive Visual Threat Stimulus Express a Persistent State of Defensive Arousal in *Drosophila*', *Current Biology*, vol. 25, issue 11
Glickstein, Mitchell, 1988, 'The Discovery of the Visual Cortex', *Scientific American*, 1 September 1988
Goff, Philip, 2017, 'Panpsychism Is Crazy, But It's Also Most Probably True', Aeon, https://aeon.co/ideas/panpsychism-is-crazy-but-its-also-most-probably-true
Gorman, James, et al., 2014, 'The Mapmakers' (series of articles), *The New York Times*
Graziano, Michael, 2013, *Consciousness and the Social Brain*, Oxford University Press

Graziano, Michael, 2013, 'How the Light Gets Out', Aeon (website), 21 August 2013, https://aeon.co/essays/how-consciousness-works-and-why-we-believe-in-ghosts
Graziano, Michael, 2014, 'Are We Really Conscious?', *New York Times*, 10 October 2014
Groh, Jennifer M., 2014, *Making Space: How the Brain Knows Where Things Are*, Belknap Press of Harvard University Press
Hendy, David, 2013, *Noise: A Human History of Sound and Listening*, Profile
Henrik, Jörntell, 2017, 'The Brain: A Radical Rethink is Needed to Understand It', The Conversation (website), 16 March 2017, https://theconversation.com/the-brain-a-radical-rethink-is-needed-to-understand-it-74460
Herculano-Houzel, Suzana, et al., 2014, 'The Elephant Brain in Numbers', *Frontiers in Neuroanatomy*, 12 June 2014
Hossenfelder, Sabine, 2016, 'The Superfluid Universe', Aeon (website), 1 February 2016, https://aeon.co/essays/is-dark-matter-subatomic-particles-a-superfluid-or-both
Huth, Alexander G., et al., 2016, 'Natural Speech Reveals the Semantic Maps that Tile Human Cerebral Cortex', *Nature*, vol. 532
Jabr, Feris, 2012, 'Know Your Neurons: What is the Ratio of Glia to Neurons in the Brain?', *Scientific American*, 13 June 2012
Jabr, Feris, 2015, 'The Neuron's Secret Partner', *Nautilus*, 13 August 2015
James, William, 1890, Chapter IX: 'The Stream of Thought' in *The Principles of Psychology*, Dover Publications (2000)
Kasthuri et al., 2015, 'Saturated Reconstruction of a Volume of Neocortex', *Cell*, vol. 162, issue 3
Keiper, Caitrin Nicol, 2013, 'Do Elephants Have Souls?' *The New Atlantis*, vol. 38, Winter/Spring 2013
Kessler, Sebastien. C., et al., 2015, 'Bees Prefer Foods Containing Neonicotinoid Pesticides', *Nature* 521
Knausgård, Karl Ove, 2016, 'I Had Never Seen Anything as Beautiful', *Telegraph*, 10 March 2016
Knowing Neurons (website), no date, '52 Brain Facts', http://knowingneurons.com/52-brain-facts/
Koch, Christoph, 2012, *Consciousness: Confessions of a Romantic Reductionist*, MIT Press
Kolb, Bryan, and Gibb, Robbin, 2011, 'Brain Plasticity and Behaviour in the Developing Brain', *Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, vol. 20, no. 4
Lee, Hyo-Jun, et al., 2016, 'Stem-Piped Light Activates Phytochrome B to Trigger Light Responses in *Arabidopsis thaliana* Roots', *Science Signaling*, vol. 9, issue 452
Leibniz, Gottfried Wilhelm, 1714, *Monadology*, http://home.datacomm.ch/kerguelen/monadology/
Lichtman, Jeff W., et al., 2008, 'A Technicolor Approach to the Connectome', *Nature Reviews Neuroscience* 9
Lopez, Barry, and Gwartney, Debra (eds.), 2013, *Home Ground: Language for an American Landscape*, Trinity University Press
Lovelock, James, 2014, *A Rough Ride to the Future*, Allen Lane
Majmudar, Amit, 2013, 'The Brains of Animals', *Kenyon Review*, 14 December 2013

Malouforis, Lambros, 2013, *How Things Shape the Mind: A Theory of Material Engagement*, MIT Press
Manzotti, Riccardo, 2016–17, 'On Consciousness' (conversations with Tim Parks), *New York Review of Books*, December 2016 to April 2017; and see also Manzotti's website, http://www.consciousness.it
Marcus, Gary, 2008, *Kluge*, Houghton Mifflin
Marcus, Gary, and Freeman, Jeremy (eds.), 2014, *The Future of the Brain: Essays by the World's Leading Neuroscientists*, Princeton University Press
Marsh, Henry, 2014, *Do No Harm*, Weidenfeld & Nicolson
Medlock, Ben, 2017, 'The Body is the Missing Link for Truly Intelligent Machines', Aeon (website), 14 March 2017, https://aeon.co/ideas/the-body-is-the-missing-link-for-truly-intelligent-machines
Miller, Kenneth D., 2015, 'Will You Ever Be Able to Upload Your Brain?', *New York Times*, 15 October 2015
Moore, Henry, 1937, 'The Sculptor Speaks', *The Listener*, 18 August 1937
Moser, Edvard, et al., 2004, 'Spatial Representation in the Entorhinal Cortex', *Science*, vol. 305, issue 5688
Nicholson, Max, 1951, *Birds and Men*, quoted in Cocker, Mark, and Mabey, Richard, *Birds Britannica*, Chatto & Windus (2005)
O'Keefe, J., et al., 1971, 'The Hippocampus as a Spatial Map. Preliminary Evidence from Unit Activity in the Freely-Moving Rat', *Brain Research*, vol. 34, issue 1
O'Shea, Michael, et al., 2013–14, 'The Human Brain' (series of articles), *New Scientist*, http://www.newscientist.com/special/the-collection-human-brain
Reardon, Sara, 2016, 'Light-Controlled Genes and Neurons Poised for Clinical Trials', *Nature*, 19 May 2016
Reardon, Sara, 2017, 'A Giant Neuron Found Wrapped Around Entire Mouse Brain', *Nature*, 24 February 2017
Russell, Bertrand, 1927, *An Outline of Philosophy*, George, Allen and Unwin
Safina, Carl, 2015, *Beyond Words*, Henry Holt
Scientific American (eds.), 2013, *The Secrets of Consciousness*, Scientific American Inc.
Seth, Anil, 'The Real Problem', Aeon (website), 2 November 2016, https://aeon.co/essays/the-hard-problem-of-consciousness-is-a-distraction-from-the-real-one
Strawson, Galen, 2015, 'Consciousness Myth,' *Times Literary Supplement*, 25 February 2015
Strawson, Galen, 2015, 'Mind and Being: The Primacy of Panpsychism' in Bruntrup, G., and Jaskolla, L. (eds.), *Panpsychism: Philosophical Essays*, Oxford University Press
Szymborska, Wisława, 1996, 'Conversation with a Stone' in *View with a Grain of Sand*, Faber & Faber
Tallis, Raymond, 2008, *The Kingdom of Infinite Space*, Atlantic
TED talks on the brain by Neil Burgess, Suzana Herculano Houzel, Henry Markram, Allan Jones, Daniel Wolpert
ter Steege, Hans, et al., 2013, 'Hyperdominance in the Amazonian Tree Flora', *Science*, vol. 342, issue 6156
Thomas, Lewis, 1974, 'On Probability and Possibility' in *The Lives of a Cell*, Viking
Thompson, Evan, 2014, *Waking, Dreaming, Being: Self and Consciousness in Neuroscience, Meditation, and Philosophy*, Columbia University Press

Thomson, Helen, 'Woman of 24 Found to Have No Cerebellum in Her Brain', *New Scientist*, 10 September 2014
Whitman, Walt, 1855, 'Song of Myself' in *The Complete Poems*, Wordsworth Poetry Library (1995)
Willis, Allee, and Lind, Jon, 1979, 'Boogie Wonderland', Earth, Wind & Fire, featuring The Emotions, The Atlantic Record Company and Columbia Records
Willis, Thomas, 1664, *The Anatomy of the Brain and Nerves*, Classics of Medicine Library (1978)
Willis, Thomas, 1672, *Two Discourses Concerning the Souls of Brutes,* London: Printed for T. Dring, C. Harper, J. Leigh
Zeng, Hongkui, et al., 2014, 'A Connectome of the Mouse Brain', *Nature*, vol. 508, issue 7495
Zimmer, Carl, 2004, *Soul Made Flesh: Thomas Willis, the English Civil War and the Mapping of the Mind*, William Heinemann

第 5 章 在祈祷的边缘——自我

Addyman, Caspar, 2016, 'Why Playing Peekaboo with Babies is a Very Serious Matter,' Aeon (website), 26 February 2016, https://aeon.co/ideas/why-playing-peekaboo-with-babies-is-a-very-serious-matter
Addyman, Caspar, forthcoming, *The Laughing Baby: The Extraordinary Science behind What Makes Babies Happy and Why*, Unbound
Agland, Phil, 2016, *Between Clouds and Dreams*, River Films
Akerlof, George A., and Shiller, Robert J., 2015, *Phishing for Phools: The Economics of Manipulation and Deception*, Princeton University Press
Alter, Adam, 2017, 'How Technology Gets Us Hooked', *Guardian*, 27 February 2017
Ananthaswamy, Anil, 2014, 'Ecstatic Epilepsy: How Seizures can be Bliss', *New Scientist*, 22 January 2014
Ananthaswamy, Anil, 2014, 'Trippy Tots: How to See the World as a Baby', *New Scientist*, 21 August 2014
Ananthaswamy, Anil, 2016, 'The Wisdom of the Aging Brain', *Nautilus*, 12 May 2016
Anonymous, 2015, 'Ayahuasca: A Personal Encounter with the Miracle Vine', *Network Review*, Spring 2015
Atran, Scott, 2014, 'Jihad's Fatal Attraction', *Guardian*, 4 September 2014
Atran, Scott, 2015, 'Looking for the Roots of Terrorism', *Nature*, 15 June 2015, http://www.nature.com/news/looking-for-the-roots-of-terrorism-1.16732
Aurelius Marcus, *c.* AD 167, *Meditations*, Penguin (2006)
Ball, Philip, et al., 2015, 'Why Music?', BBC Radio 3, 25 September 2015
Baumeister, Roy, et al., 2001, 'Bad is Stronger than Good', *Review of General Psychology*, vol. 5, No. 4
Benjamin, Walter, 1938, 'A Berlin Childhood Around 1900' in *Selected Writings*, vol. 3, Belknap Harvard (2002)
Berridge, Kent C., 'Dissecting Components of Reward: "Liking", "Wanting", and Learning', *Current Opinion in Pharmacology*, vol. 9, issue 1
Berry, Thomas, 1993, 'The Meadow Across the Creek', http://www.thomasberry.org/Essays/MeadowAcrossCreek.html

Bjerstedt, Sven, 2013, 'Review essay of *Strong Experiences with Music*', *International Journal of Education & the Arts*, vol. 14, review 7
Borges, Jorge Luis, 1977, 'Undr' in *The Book of Sand and Shakespeare's Memory*, Penguin Classics (2001)
Browne Thomas, 1690, 'Letter to a Friend' in Killeen, Kevin (ed.), *Thomas Browne: 21st Century Oxford Authors*, Oxford University Press (2014)
Burak, Jacob, 'Outlook: Gloomy', Aeon (website), 4 September 2014, https://aeon.co/essays/humans-are-wired-for-negativity-for-good-or-ill
Carhart-Harris, Robin L., et al., 2016, 'Neural Correlates of the LSD Experience Revealed by Multimodal Neuroimaging', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, no. 17
Clare, John, *c.*1826, *The Autobiography* in Williams, Merryn, and Williams, Raymond (eds.), *John Clare: Selected Poetry and Prose*, Methuen (1986)
Claxton, Guy, 2013, 'On Being Touched and Moved: Why Spirituality Is Essentially Embodied' (lecture given at the RSA), 26 November 2013, https://www.thersa.org/discover/publications-and-articles/rsa-blogs/2014/02/science-and-spirituality-effing-the-ineffable/
Costandi, Mo, 2007, 'Diagnosing Dostoyevsky's Epilepsy', Neurophilosophy (website), 16 April 2007, https://neurophilosophy.wordpress.com/2007/04/16/diagnosing-dostoyevskys-epilepsy/
Crawford, Matthew, 2015, *The World Beyond Your Head: How to Flourish in an Age of Distraction*, Viking
Deary, Vincent, 2014, *How We Are*, Penguin
de Tocqueville, Alexis, 1835, *Journeys to England and Ireland*, Transaction Publishers (1987)
Dillard, Annie 1987, *An American Childhood*, Harper and Row
Diski, Jenny, 2016, 'The Island of Lost Words', Berfrois (website), 29 January 2016, http://www.berfrois.com/2016/01/jenny-diski-on-the-enormity-of-that-lost-word/
Dolder, Patrick C., et al., 2016, 'LSD Acutely Impairs Fear Recognition and Enhances Emotional Empathy and Sociality', *Neuropsychopharmacology*, vol. 41
Dostoyevsky, Fyodor, 1880, *The Brothers Karamazov*, Penguin (1993)
Ehrenreich, Barbara, 2007, *Dancing in the Streets: A History of Collective Joy*, Granta Books
Emerson, Ralph Waldo, 1836, *Nature*, James Munroe and Company; available at http://www.emersoncentral.com/nature.htm
Evans, Jules, 2017, *The Art of Losing Control: A Philosopher's Search for Ecstatic Experience*, Canongate
Eyal, Nir, with Hoover, Ryan, 2015, *Hooked: How to Build Habit-Forming Products*, Portfolio
Fleming, Amy, 2015, 'The Science of Craving', *1843 Magazine*, May/June 2015
Freud, Sigmund, 1905, *Jokes and their Relation to the Unconscious*, Vintage Classics (2001)
Gabrielsson, Alf, 2011, *Strong Experiences with Music*, Oxford University Press
Gibbon, Edward, 1776, *The Decline and Fall of the Roman Empire*, Penguin Classics (1996)
Glenny, Misha, 2016, 'The Dark Side of Brazil's "Marvellous City"' (review of *Rio de Janeiro: Extreme City* by Luiz Eduardo Soares), *Guardian*, 19 May 2016
Gopnik, Alison, 2009, *The Philosophical Baby*, Farrar, Straus and Giroux

Gray, John, 2015, *The Soul of the Marionette: A Short Inquiry into Human Freedom*, Penguin
Griffith, Jay, 2014, *Kith*, Hamish Hamilton
Griffiths, Ronald, et al., 2006, 'Psilocybin Can Occasion Mystical-Type Experiences Having Substantial and Sustained Personal Meaning and Spiritual Significance', *Psychopharmacology*, vol. 187, issue 3
Heraclitus, Fragment 45, in Burnet, John (ed.), *Early Greek Philosophy*, A. & C. Black (1930, 4th edition)
Holloway, Richard, 2016, 'Three Score Years and Ten: Looking Back', BBC Radio 4, 18 Jan 2016
Hoffman, Jan, 2016, 'A New Vision for Dreams of the Dying', *New York Times*, 2 February 2016
Hughes, Ted, 2009, *Letters*, Faber & Faber
Hume, David, 1776, 'My Own Life', https://en.wikisource.org/wiki/My_Own_Life
Irigaray, Luce, 1993, *An Ethics of Sexual Difference*, Cornell University Press
Kalanithi, Paul, 2016, *When Breath Becomes Air*, Bodley Head
Kerr, C. W., et al., 2014, 'End-of-Life Dreams and Visions: A Longitudinal Study of Hospice Patients' Experiences', *Journal of Palliative Medicine*, vol. 17, issue 3
Kimmerer, Robin Wall, 2014, *Braiding Sweetgrass*, Milkweed Editions
Kulka Otto Dov, 2013, *Landscapes of the Metropolis of Death*, Allen Lane
Lasdun, James, 2015, 'Houellebecq in the Flesh', *New York Review of Books*, 24 March 2015
Lawrence, D. H., 1915, *The Rainbow*, Penguin Classics (2000)
Lewis, Helen, 2015, 'The Utopia of Isis: Inside Islamic State's Propaganda War', *New Statesman*, 20 November 2015
Lilla, Mark, 2015, 'Slouching Toward Mecca' (review of *Soumission* by Michel Houellebecq), *New York Review of Books*, 2 April 2015
Macfarlane, Robert, 2015, *Landmarks*, Hamish Hamilton
Macfarlane, Robert, 2016, 'Laurence Edwards: An Essay', Caught by the River (website), 18 May 2016, http://www.caughtbytheriver.net/2016/05/18/laurence-edwards-messums-robert-macfarlane-sculpture/
Marshall, Michael, 2009, 'Six Things Science Has Revealed about the Female Orgasm', *New Scientist*, 28 May 2009
Mason, Wyatt, 2014, 'The Revelations of Marilynne Robinson', *New York Times*, 1 October 2014
Masters, William H., and Johnson, Virginia, 1979, *Homosexuality in Perspective*, Little, Brown & Co.
Merleau-Ponty, Maurice, 1945, *Phenomenology of Perception*, Routledge (2012)
Miłosz, Czesław, 1936, 'Encounter' in *New and Collected Poems (1931–2001)*, Ecco
Mireault, Gina, 2017, 'Five-Month-Old Babies Know What's Funny', Aeon (website), 20 January 2017, https://aeon.co/ideas/five-month-old-babies-know-whats-funny
Monbiot, George, 2017, 'Our Greatest Peril? Screening Ourselves Off from Reality', *Guardian*, 28 February 2017
Morell, Virginia, 2017, 'No Place is Safe for Africa's Hunted Forest Elephants', *Science*, February 20, 2017
Murray, Les, 1998, 'A Defence of Poetry' (lecture given at the Poetry International Festival in Rotterdam), http://www.lesmurray.org/defence.htm

Nietzsche, Friedrich, 1872, *The Birth of Tragedy*, Penguin Classics (1993)
Nietzsche, Friedrich, 1885, *Thus Spoke Zarathustra*, Oxford World's Classics (2008)
Packer, George, 2016, 'Exporting Jihad: The Arab Spring Has Given Tunisians the Freedom to Act on Their Unhappiness', *New Yorker*, 26 March 2016
Peleg, R., and Peleg, A., 2000, 'Case Report: Sexual Intercourse as Potential Treatment for Intractable Hiccups', *Canadian Family Physician*, vol. 46
Piff, Paul, et al., 2015, 'Awe, the Small Self, and Prosocial Behavior', *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 108, no. 6
Piff, Paul, and Keltner, Dacher, 2015, 'Why Do We Experience Awe?,' *New York Times*, 22 May 2015
Pinker, Steven, 2011, *The Better Angels of Our Nature: Why Violence Has Declined*, Viking
Pollan, Michael, 2015, 'The Trip Treatment', *New Yorker*, 9 February 2015
Reich, Steve, 1974, *Writings about Music*, Halifax: The Press of the Nova Scotia College of Art and Design
Rilke, Rainer Maria, 1929, *Letters to a Young Poet*, Penguin Classics (2012)
Roach, Mary, 2008, *Bonk: The Curious Coupling of Science and Sex*, W. W. Norton & Co.
Roach, Mary, 2009, 'Ten Things You Didn't Know About Orgasm' (TED talk), February 2009, https://www.ted.com/talks/mary_roach_10_things_you_didn_t_know_about_orgasm
Roberts, Seth, 2014, 'How Economics Shaped Human Nature: A Theory of Human Evolution', in Cai, S., and Beltz, N. (eds.), *Mind and Cognition*, Springer
Robinson, Marilynne, 2015, 'Fear', *New York Review of Books*, 24 September 2015
Rowson, Jonathan, 2014, *Spiritualise: Revitalising Spirituality to Address 21st Century Challenges*, RSA Action and Research Centre
Sacks, Oliver, 2015, *Gratitude*, Picador
Sacks, Oliver, 2015, 'Urge', *New York Review of Books*, 24 September 2015
Saunders, George, 2015, *On Story* (film by Sarah Klein and Tom Mason), Redglass Pictures
Schulz, Bruno, (date unknown), 'Republic of Dreams' in *The Street of Crocodiles and Other Stories*, Penguin (2008)
Schwartz, Barry, 2004, *The Paradox of Choice: Why More Is Less*, HarperCollins; see also 'The Paradox of Choice (TED talk), July 2005, https://www.ted.com/talks/barry_schwartz_on_the_paradox_of_choice
Sheridan, Margaret A., 2012, 'Variation in Neural Development as a Result of Exposure to Institutionalisation Early in Childhood', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 109, no. 32
Sloboda, John, 2005, *Exploring the Musical Mind*, Oxford University Press; and personal communication with the author in 2015
Sloterdijk, Peter, 2013, *You Must Change Your Life*, Polity
Solomon, Sheldon, 2015, 'On Fear of Death', Five Books (website), 22 August 2015, http://fivebooks.com/interview/sheldon-solomon-on-fear-of-death/
Sophocles, 406 BC, *Oedipus at Colonus* in *The Three Theban Plays*, Penguin Classics (1984)
Stevenson, Bryan, 2014, *Just Mercy*, Spiegel & Grau

Tallis, Raymond, 2012, *In Defence of Wonder*, Acumen
Traherne, Thomas, *c.*1637–74, *Centuries of Meditations* (first published 1910)
Unger, Roberto Mangabeira, 2014, *The Religion of the Future*, Harvard University Press; see also openDemocracy, 31 March 2014, https://www.opendemocracy.net/transformation/roberto-mangabeira-unger/religion-of-future
Veloso, Caetano, 1998, *Livro*, Nonesuch
Ward, Colin, 1990, *The Child in the City*, Bedford Square Press
Weisberg, Jacob, 'We are Hopelessly Hooked', *New York Review of Books*, 25 February 2015
Whaley, John, Sloboda, John, and Gabrielsson, Alf, 2008, 'Peak Experiences with Music' in Hallam, Susan, et al. (eds.), *Oxford Handbook of Music Psychology*, Oxford University Press (2008)
White, Jon, 2015, 'Does Music Strike a Chord with Everyone?', *New Scientist*, 15 April 2015
Williams, Rowan, 2014, 'The Physicality of Prayer', *New Statesman*, 8 July 2014
Zweibel, Herman T., et al., 1999, *Our Dumb Century: The Onion Presents 100 Years of Headlines*, Crown Publishing

第 6 章　地图和梦想——世界

Adams, Douglas, 1980, *The Restaurant at the End of the Universe*, Pan
Adams, John, 1995, *Harmonielehre*, 'Part III: Meister Eckhardt and Quackie', performed by Simon Rattle and CBSO, Associated Music, G. Schirmer Inc.
al-Koni, Ibrahim, 2014, 'Visiting Death' in Parker, David, *Myth and Landscape*, Kehrer Verlag (2014)
Aristotle, *Eudemian Ethics*, Oxford University Press (2011)
Barras, Colin, 'Mystery human species Homo naledi had tiny but advanced brain', *New Scientist*, 24 April 2017
Barthe, Christine, and Barral, Xavier (eds.), 2015, *The Lost Tribes of Tierra del Fuego*, with photographs by Martin Gusinde, Thames and Hudson
Beck, Ulrich, 2015, *The Metamorphosis of the World: How Climate Change is Transforming Our Concept of the World*, Polity
Benson, Michael, 2014, *Cosmigraphics: Picturing Space Through Time*, Abrams
Billings, Lee, 2013, *Five Billion Years of Solitude*, Current
Borges, Jorge Luis, 1946, 'On Exactitude in Science' in *A Universal History of Iniquity*, Penguin (2004)
Brothers, J. Roger, 2015, 'Evidence for Geomagnetic Imprinting and Magnetic Navigation in the Natal Homing of Sea Turtles', *Current Biology*, vol. 25, issue 3
Brotton, Jerry, 2012, *A History of the World in Twelve Maps*, Allen Lane
Calvino, Italo, 1974, *Invisible Cities*, Harcourt Brace Jovanovich
Chandra X-Ray Observatory, 2016, 'Tycho's Supernova Remnant' (photographs), chandra.harvard.edu
Cox, Brian, and Cohen, Andrew, 2014, *The Human Universe*, William Collins
Cyranoski, David, 'Discovery of Long-Sought Biological Compass Claimed', *Nature*, 16 November 2015
Dillard, Annie, 1999, *For the Time Being*, Vintage

Doctorow, Cory, 2015, 'Skynet Ascendant', Locus Online (website), 2 July 2015, http://www.locusmag.com/Perspectives/2015/07/cory-doctorow-skynet-ascendant/
Ellis, George, 2014, interview with John Horgan, *Scientific American*, 22 July 2014
Finlay, Alec, 2015, 'The Princess Forest', *Forest Fables* (podcast), *Guardian*, 5 November 2015
Gaffney, Owen, and Steffen, Will, 2017, 'The Anthropocene Equation', *The Anthropocene Review*, 10 February 2017
Ghosh, Amitav, 2016, *The Great Derangement: Climate Change and the Unthinkable*, University of Chicago Press
Gooley, Tristan, 2011, *The Natural Navigator*, Virgin Books
Graham, W. S., 1954, 'As Brilliance Fell' in *Selected Poems*, Faber & Faber (1996)
Grinspoon, David, 2016, *Earth in Human Hands*, Grand Central Publishing
Guzmán, Patricio, 2010, *Nostalgia for the Light*, Icarus Films
Guzmán, Patricio, 2015, *The Pearl Button*, Atacama Productions et al.
Hoare, Philip, 2014, *The Sea Inside*, Fourth Estate
Hoffman, Donald, and Gefter, Amanda, 2016, 'The Evolutionary Argument Against Reality', Quanta Magazine (website), 21 April 2016, https://www.quantamagazine.org/20160421-the-evolutionary-argument-against-reality/
Hoggett, Paul, and Randall, Rosemary, 2016, 'Socially Constructed Silence? Protecting Policymakers from the Unthinkable', openDemocracy (website), 6 June 2016, https://www.opendemocracy.net/transformation/paul-hoggett-rosemary-randall/socially-constructed-silence-protecting-policymakers-fr
Jaubert, J., et al., 2016, 'Early Neanderthal Constructions Deep in Bruniquel Cave in Southwestern France', *Nature*, vol. 534
Jefferies, Richard, no date, *The Old House at Coate and Other Unpublished Essays*, Harvard University Press (1948)
Julian of Norwich, 1395, *Revelations of Divine Love*, Oxford University Press (2015)
Kalman, Maira, and Meyerowitz, Rick, 2001, cover of *The New Yorker*, 10 December 2001
Kant, Immanuel, 1755, *General History of Nature and Theory of the Heavens* in *Kant: Natural Science*, Cambridge University Press (2012)
Keneally, Thomas, 1988, 'Dreamscapes', *New York Times*, 13 November 1988
Kimmerer, Robin Wall, 2015, *Gathering Moss*, Oregon State University Press
Koberlin, Brian, 2013, 'Distant Star', One Universe at a Time (website), 22 December 2013, https://briankoberlein.com/2013/12/22/distant-star/
Kopenawa, Davi, and Albert, Bruce, 2013, *The Falling Sky*, Harvard University Press
Lawrence, D. H., 1928, 'Introduction to *Chariot of the Sun*' ('Chaos in Poetry') in *Phoenix: The Posthumous Papers of D. H. Lawrence*, Penguin (1978)
Leopold, Aldo, 1949, 'The Land Ethic' in *A Sand County Almanac*, Library of America (2013)
Levi, Primo, 'The First Atlas', Collected Poems, Faber & Faber (1988)
Lewis-Williams, David, 2011, *San Rock Art*, Jacana Media
Linklater, Andro, 2014, *Owning the Earth*, Bloomsbury

Lopez, Barry, 1986, *Arctic Dreams*, Charles Scribner & Sons
Lopez, Barry, 2015, 'The Invitation' in *Granta* 133: What Have We Done, autumn 2015
McCarthy, Michael J., 2015, *The Moth Snowstorm: Nature and Joy*, John Murray
Morphy, Howard, 1988, *Aboriginal Art*, Phaidon
Ornes, Stephen, 2016, 'Inside the Lost Cave World of the Amazon's Tepui Mountains', *New Scientist*, 26 April 2016
Parshley, Lois, 2017, 'Faultlines, Black Holes and Glaciers: Mapping Uncharted Territories', *Guardian*, 7 February 2017
Platoni, Kara, 2016 'Stanford's Virtual Reality Lab Turned Me into a Cow, Then Sent Me to the Slaughterhouse', KQED Science (website), 22 April 2016, https://ww2.kqed.org/futureofyou/2016/04/22/stanfords-virtual-reality-lab-turned-me-into-a-cow-then-sent-me-to-the-slaughterhouse/
Ramsey, Frank, 1931, *The Foundations of Mathematics: And Other Logical Essays*, Routledge
Ritz, Thorsten, 2009, 'Magnetic Compass of Birds is Based on a Molecule with Optimal Directional Sensitivity', *Biophysical Journal*, vol. 96, issue 8
Robinson, Kim Stanley, 2015, *Aurora*, Orbit
Robinson, Tim, 1986, *Stones of Aran: Pilgrimage*, Penguin
Schalansky, Judith, 2010, *Atlas of Remote Islands*, Particular Books
Schiffman, Richard, 'Four Countries are Acting as Safe Havens for African Elephants', *New Scientist*, 5 June 2015
Stapleton, Olaf, 1937, *Star Maker*, Methuen
Thompson, Nainoa, no date, 'On Wayfinding', Hawaiian Voyaging Traditions (website), http://pvs.kcc.hawaii.edu/ike/hookele/on_wayfinding.html
Tollefson, Jeff, 2016, 'Antarctic Model Raises Prospect of Unstoppable Ice Collapse', *Nature*, 30 March 2016
Tracy, Gene, 2015, 'Sky Readers', Aeon (website), 23 December 2015, https://aeon.co/essays/what-have-we-lost-now-we-can-no-longer-read-the-sky
Tyler, Dominik, 2015, *Common Ground: A World-Lover's Guide to the British Landscape*, Guardian Books/Faber & Faber
Vanz, Thomas, 2016, *Novae: An Aesthetic and Scientific Representation of a Supernova*, Vimeo
Vitebsky, Pier, 2005, *The Reindeer People: Living with Animals and Spirits in Siberia*, HarperCollins
Wang, J., and Marois, C., 2017, 'Four Planets Orbiting Star HR 8799' (video), NExSS (NASA)/Keck Observatory, https://apod.nasa.gov/apod/ap170201.html
Wernquist, Erik, 2014, *Wanderers*, https://vimeo.com/108650530
Winchester, Simon, 2001, *The Map That Changed the World: William Smith and the Birth of Modern Geology*, HarperCollins
Wright, Thomas, 1750, *An Original Theory or New Hypothesis of the Universe*, Cambridge University Press (2014)
Wulf, Andrea, 2015, *The Invention of Nature: The Adventures of Alexander von Humboldt*, John Murray

第 7 章　未来的奇迹——用或然冒险

Allen, Paul, 2011, 'The Singularity Isn't Near', *MIT Technology Review*, 12 October 2011

Andersen, Ross, 2014, 'Exodus: Elon Musk Puts His Case for a Multi-Planet Civilisation', Aeon (website), 30 September 2014, https://aeon.co/essays/elon-musk-puts-his-case-for-a-multi-planet-civilisation

Armstrong, D. J., et al., 2016, 'Variability in the Atmosphere of the Hot Giant Planet HAT-P-7 b', *Nature Astronomy*, vol. 1

Barrat, James, 2015, *Our Final Invention: Artificial Intelligence and the End of the Human Era*, St Martin's Griffin

Benford, James, and Benford, Gregory (eds.), 2013, *Starship Century: Toward the Grandest Horizon*, Microwave Sciences

Berger, John, undated, quoted by Ali Smith in 'John Berger Remembered', *Guardian*, 6 January 2017

Bernal, John Desmond, 1929, *The World, The Flesh and the Devil: An Enquiry into the Future of the Three Enemies of the Rational Soul*, https://www.marxists.org/archive/bernal/works/1920s/soul/

Bhorat, Ziyaad, 2016, 'Lost in Space: Silicon Valley and the Future of Democracy', openDemocracy (website), 13 July 2016, https://www.opendemocracy.net/transformation/ziyaad-bhorat/lost-in-space-silicon-valley-and-future-of-democracy

Bishop, Elizabeth, 'At the Fishhouses' in *The Complete Poems 1927–1979*, Farrar Straus and Giroux (1983)

Boden, Margaret, 2016, *AI: Its Nature and Future*, Oxford University Press

Borges, Jorge Luis, 1946, 'A New Refutation of Time' in *Other Inquisitions, 1937–1952*, University of Texas Press

Boston Dynamics, 2016, 'Atlas: The Next Generation' (video), https://www.youtube.com/watch?v=rVlhMGQgDkY

Bostrom, Nick, 2008, 'Why I Want To Be a Posthuman When I Grow Up' in Gordijn, Bert, and Chadwick, Ruth (eds.), *Medical Enhancement and Posthumanity*, Springer

Bostrom, Nick, 2014, *Superintelligence*, Oxford University Press

BP Statistical Review of World Energy, June 2015

Brodbeck, Luzius, et al., 2015, 'Morphological Evolution of Physical Robots through Model-Free Phenotype Development', *PLOS One*, 19 June 2015

Brooks, Michael, 2014, 'Turing's Oracle: The Computer That Goes Beyond Logic', *New Scientist*, 16 July 2014

Burton, Robert, 1621–39, *The Anatomy of Melancholy*, NYRB Classics (2001)

Butler, Declan, 2016, 'A World Where Everyone Has a Robot: Why 2040 Could Blow Your Mind', *Nature*, vol. 530, issue 7591

Butler, Samuel, 1863, 'Darwin Among the Machines', letter to *The Press* (Christchurch, New Zealand), http://nzetc.victoria.ac.nz/tm/scholarly/tei-ButFir-t1-g1-t1-g1-t4-body.html

Carr, Nicholas, 2016, *Utopia is Creepy: And Other Provocations*, W. W. Norton & Co.

Carter, Mike, 2016, 'I Walked from Liverpool to London. Brexit was No Surprise', *Guardian*, 27 June 2016

Cave, Stephen, 2015, 'Rise of the Machines: Is There Anything to Fear?', *Financial Times*, 20 March 2015

Ceglowski, Maciej, 2016, 'Superintelligence: The Idea That Eats Smart People' (talk at Webcamp Zagreb), 26 October 2016, http://idlewords.com/talks/superintelligence.htm

Chang, Ha-Joon, 2010, *23 Things They Don't Tell You About Capitalism*, Allen Lane

Clancy, Kelly, 2017, 'A Computer to Rival the Brain', *The New Yorker*, 15 February 2017

Cole, K. C., 2015, 'Why You Didn't See It Coming', *Nautilus*, 15 October 2015

Cooper, Alan, et al., 2017, 'Aboriginal Mitogenomes Reveal 50,000 Years of Regionalism in Australia', *Nature*, 8 March 2017

Cotton-Barrat, Owen, et al., 2016, 'Global Catastrophic Risks 2016', Global Challenges Foundation

Curry, Andrew, 2015, 'On Futures', Five Books (website), 19 June 2015, http://fivebooks.com/interview/andrew-curry-on-futures/

Davies, William, 2016, 'The New Neoliberalism', *New Left Review*, vol. 101 (Sep/Oct 2016)

de Mul, Jos, 2011, 'The Technological Sublime', Next Nature (website), 17 July 2011, https://www.nextnature.net/2011/07/the-technological-sublime/

Deutsch, David, 'Philosophy Will Be the Key That Unlocks Artificial Intelligence', *Guardian*, 3 October 2012

Drexler, Eric K., 2013, *Radical Abundance: How a Revolution in Nanotechnology Will Change Civilization*, Public Affairs

Dyson, Freeman, 2016, 'The Green Universe: A Vision', *The New York Review of Books*, 13 October 2016

Dyson, George, 2013, *Turing's Cathedral: The Origins of the Digital Universe*, Penguin

Edin, Kathryn J., and Shaefer, H. Luke, 2015, *$2.00 a Day: Living on Almost Nothing in America*, Houghton Mifflin Harcourt

Enriquez, Juan and Gullans, Steve, 2016, *Evolving Ourselves: Redesigning the Future of Humanity – One Gene at a Time*, Current

Ford, Martin, 2015, *Rise of the Robots*, Basic Books

Frase, Peter, 2016, *Four Futures: Life After Capitalism*, Verso

Gaiman, Neil, 2015, 'How Stories Last' (seminar given for the Long Now Foundation), 9 June 2015, http://longnow.org/seminars/02015/jun/09/how-stories-last/

Garland, Alex, 2015, *Ex Machina*, Film4/DNA Films

Gillon, Michaël and Amaury Triaud, 2017 'Dwarf Planetary Systems will Transform the Hunt for Alien Life', *Aeon*, 2 May 2017

Gillon, Michaël, et al., 2017, 'Seven Temperate Terrestrial Planets around the Nearby Ultracool Dwarf Star TRAPPIST-1', *Nature*, vol. 542, issue 2762

Goodall, Chris, 2016, *The Switch*, Profile Books

Harari, Yuval Noah, 2015, *Homo Deus: A Brief History of Tomorrow*, Penguin Books

Harford, Tim, 2011, *Adapt*, Abacus

Harford, Tim, 2016, 'Brexit and the Power of Wishful Thinking', timharford.com (website), 19 July 2016, http://timharford.com/2016/07/brexit-and-the-power-of-wishful-thinking/

Helbing, Dirk, et al., 2017, 'Will Democracy Survive Big Data and Artificial Intelligence?', *Scientific American*, 25 February 2017

Herzog, Werner, 2016, *Lo and Behold: Reveries of the Connected World*, Magnolia Pictures
Hopkins, Gerard Manley, 1877, 'Pied Beauty' in *Poems and Prose*, Penguin Classics (2008)
Humphrey, Nicholas, 2015, 'The Colossus is a BFG', Edge (website), http://edge.org/response-detail/26063
Huxley, Aldous, 1959, 'Tomorrow and Tomorrow and Tomorrow' in *Collected Essays*, Harper
IEEE Spectrum, 2015, 'Robots Falling Down at the DARPA Robotics Challenge' (video), 5 June 2015, https://www.youtube.com/watch?v=goTaYhjpOfo
Impey, Chris, 2015, *Beyond: Our Future in Space*, W. W. Norton & Co.
Ings, Simon, 2016, 'Stanisław Lem: The Man with the Future Inside Him', *New Scientist*, 16 November 2016
International Energy Agency, 2016, *World Energy Outlook*
Johnson, Steven, 2014, *How We Got to Now: Six Innovations That Made the Modern World*, Particular Books
Jones, Jonathan, 2016, 'Out of This World: Why the Most Important Art Today is Made in Space', *Guardian*, 12 June 2016
Jones, Richard A. L., 2016, *Against Transhumanism*, Soft Machines (website), http://www.softmachines.org/wordpress/?p=1772
Kelly, Kevin, 2016, *The Inevitable: Understanding the 12 Technological Forces That Will Shape Our Future* , Viking Press, https://backchannel.com/the-seven-steps-toward-making-humans-obsolete-3a5c4e24a19b - .3xeg1n8jg
Kelly, Kevin, 2016, 'The Next 30 Digital Years' (seminar given for the Long Now Foundation), 14 July 2016, http://longnow.org/seminars/02016/jul/14/next-30-digital-years/
Keynes, John Maynard, 1930, 'Economic Possibilities for Our Grandchildren' in *Essays in Persuasion*, New York: W. W. Norton & Co. (1963)
Keynes, John Maynard, 1937, 'Some Economic Consequences of a Declining Population', *The Eugenics Review*, vol. 29, no. 1
Khatchadourian, Raffi, 2014, 'A Star in a Bottle', *The New Yorker*, 3 March 2014
Kleeman, Jenny, 2017, 'The Race to Build the World's First Sex Robot', *Guardian*, 27 April 2017
KPMG India, 2015, *The Rising Sun: Disruption on the Horizon*, https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2016/01/ENRich2015.pdf
Kruze, Ethan, 2015, *Kepler Orrery IV*, University of Washington
Kurzweil, Ray, 2005, *The Singularity is Near: When Humans Transcend Biology*, Viking
LaFrance, Adrienne, 'When Robots Hallucinate', *The Atlantic*, 3 September 2015
Lanchester, John, 'The Robots Are Coming', *London Review of Books*, 5 March 2015
LeCun, Yann, et al., 2015, 'Deep Learning', *Nature*, vol. 521, no. 7553
Le Guin, Ursula, 2014, Speech upon receipt of the US National Book Foundation's Medal for Distinguished Contribution to American Letters, http://www.nationalbook.org/amerletters_2014_uleguin.html#.WMXzABKLRLU
Lem, Stanisław, 1961, *Solaris*, Faber & Faber (2003)
Lem, Stanisław, 1964, *Summa Technologiae*, Minneapolis: University of Minnesota Press (English edition, 2013)

Liu Cixin, 2008, *Remembrance of Earth's Past*, Head of Zeus (2015)
Louden, Tom, and Wheatley, Peter J., 2015, 'Spatially Resolved Eastward Winds and Rotation of HD 189733b', *The Astrophysical Journal Letters*, vol. 84, no. 2
Louwen, Atse, et al., 2016, 'Re-Assessment of Net Energy Production and Greenhouse Gas Emissions Avoidance after 40 Years of Photovoltaics Development', *Nature Communications* 7
Mailer, Norman, 1970, *A Fire on the Moon*, Penguin Classics (2014)
Marcus, Gary, 2013, 'Why We Should Think About the Threat of Artificial Intelligence', *The New Yorker*, 24 October 2013
Margolin, Madison, 2016, 'War Algorithms Will Save Lives Unless They Kill Us All', Inverse (website), 16 December 2016, https://www.inverse.com/article/25140-war-algorithms
Martin, Ursula, 2015, 'Thinking Saltmarshes', Edge (website), https://www.edge.org/response-detail/26120
Marx, Karl, 1845, *The German Ideology*, Prometheus Books (1998)
Mason, Michael, et al., 2015, 'The Potential of CAM Crops as a Globally Significant Bioenergy Resource', *Energy and Environmental Science*, vol. 8
McKay, Chris, 2016, 'Make Mars Great Again', *Nautilus*, 15 December 2016
Mendelson, Edward, 2016, 'In the Depths of the Digital Age', *New York Review of Books*, 23 June 2016
Mordvintsev, Alexander, et al., 2015, 'Inceptionism: Going Deeper into Neural Networks' (Google research blog), 17 June 2015, https://research.googleblog.com/2015/06/inceptionism-going-deeper-into-neural.html
Morris, William, 1890, *News from Nowhere*, Oxford World's Classics (2009)
Moskvitch, Katia, 2015, 'Artificial Photosynthesis: Mimicking Nature's Most Powerful Trick', *Engineering and Technology Magazine*, 9 November 2015
Mukherjee, Siddhartha, 2016, *The Gene: An Intimate History*, Scribner
New Scientist magazine, 'The Rapid Rise of Neural Networks and Why They'll Rule Our World', 8 July 2015
Nielsen, Michael, 2016, 'Is AlphaGo Really Such a Big Deal?', Quanta Magazine (website), 29 March 2016, https://www.quantamagazine.org/20160329-why-alphago-is-really-such-a-big-deal/
Nocera, Daniel, et al., 2016, 'Water Splitting–Biosynthetic System with CO2 Reduction Efficiencies Exceeding Photosynthesis', *Science*, vol. 352, issue 6290
Nordhaus, William D., 1994, 'Do Real Output and Real Wage Measures Capture Reality? The History of Lighting Suggests Not' in Bresnahan, Timothy F., and Gordon, Robert J. (eds.), *The Economics of New Goods*, University of Chicago Press (1996)
Nyquist, Eric, 2016, 'Running is Always Blind: How Your Brain Keeps You from Falling On Your Face', Nautilus (website), 7 July 2016, http://nautil.us/issue/38/noise/running-is-always-blind
Office of the Secretary of Defence Public Affairs, 2016, 'Perdix Swarm Demo Oct 2016' (video), https://www.dvidshub.net/video/504622/perdix-swarm-demo-oct-2016
Oreskes, Naomi, and Conway, Erik M., 2014, *The Collapse of Western Civilization: A View from the Future*, Columbia University Press
Osnos, Evan, 2017, 'Doomsday Prep for the Super-Rich', *The New Yorker*, 30 January 2017

Pamlin, Dennis, and Armstrong, Stuart, 2015, *12 Risks That Threaten Civilisation*, Oxford Martin School
Pecchi, Lorenzo, and Piga, Gustavo, 2008, *Revisiting Keynes*, MIT Press
Radiohead, 2016, 'Daydreaming' (video, directed by Paul Thomas Anderson), https://www.youtube.com/watch?v=TTAU7lLDZYU
Raworth, Kate, 2017, *Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*, Random House Business
Regis, Ed, 2015, 'Let's Not Move to Mars', *New York Times*, 21 September 2015
Reid, Nicholas, et al., 2014, 'Indigenous Australian Stories and Sea-Level Change' in Heinrich, Patrick, and Ostler, Nicholas (eds.), *Indigenous Languages and their Value to the Community* (Proceedings of the 18th Foundation for Endangered Languages Conference, Okinawa, Japan)
REN21, 2016, *Renewables 2016 Global Status Report*, http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/
Romesberg, Floyd E., et al., 2016, 'A Semisynthetic Organism Engineered for the Stable Expansion of the Genetic Alphabet', *Proceedings of the National Academy of Sceinces*, vol. 114, no. 6
Russell, Andrew, and Vinsel, Lee, 2017, 'Whitey on Mars', Aeon (website), 1 February 2017, https://aeon.co/essays/is-a-mission-to-mars-morally-defensible-given-todays-real-needs
Shanahan, Murray, 2015, *The Technological Singularity*, MIT Press
Shanahan, Murray, 2016, 'Conscious Exotica', Aeon (website), 19 October 2016, https://aeon.co/essays/beyond-humans-what-other-kinds-of-minds-might-be-out-there
Simonite, Tom, 'Google's Quantum Dream Machine', *MIT Technology Review*, 18 December 2015
Smith, Zadie, 2016, 'On Optimism and Despair', *New York Review of Books*, 22 December 2016
Sophocles, 441 BC, *Antigone* in *The Three Theban Plays*, Penguin Classics (1994)
Sparrow, Robert, 2016, 'The Argument Against Terraforming Mars', Nautilus (website), http://cosmos.nautil.us/short/85/the-argument-against-terraforming-mars
Streeck, Wolfgang, 2014, 'How Will Capitalism End?', *New Left Review*, vol. 81 (May–June 2014)
Sussams, Luke, et al., 2017, *Expect the Unexpected: The Disruptive Power of Low-Carbon Technologies*, Carbon Tracker/Grantham Institute, Imperial College London, http://www.carbontracker.org/report/expect-the-unexpected-disruptive-power-low-carbon-technology-solar-electric-vehicles-grantham-imperial/
Upton, John, 2015, 'Ancient Sea Rise Tale Told Accurately for 10,000 Years', *Scientific American*, 26 January 2015
Urban, Tim, 2015, 'How and Why Spacex will Colonise Mars', Wait But Why (website), 16 August 2015, http://waitbutwhy.com/2015/08/how-and-why-spacex-will-colonize-mars.html
Various contributors, 2015, responses to the 2015 Edge question 'What Do You Think about Machines That Think?', Edge (website), https://www.edge.org/annual-question/what-do-you-think-about-machines-that-think
Webster, C. R., et al., 2015, 'Mars Methane Detection and Variability at Gale Crater' *Science*, vol. 347, issue 6220
Wenger, Albert, 2016, *World After Capital*, http://worldaftercapital.org

Wheeler, Michael, 2015, 'Martin Heidegger' in Zalta, Edward N. (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, https://plato.stanford.edu/
Winfield, Alan, and Vanderelst, Dieter, 2016, 'The Dark Side of Ethical Robots', arXiv:1606.02583v1
Wood, David, et al., 2014, *Anticipating 2025: A Guide to the Radical Changes That May Lie Ahead,* London Futurists
World Nuclear Association, 2016, 'Plans for New Reactors Worldwide', http://www.world-nuclear.org/info/current-and-future-generation/plans-for-new-reactors-worldwide/
Yong, Ed, 2015, 'What Can You Actually Do with Your Fancy Gene-Editing Technology? Wading through the Hype about CRISPR', *The Atlantic*, 2 December 2015
Yunipingu, Galarrwuy, 2016, 'Rom Watangu: An Indigenous Leader Reflects on a Lifetime Following the Law of the Land', *The Monthly*, July 2016
Zhang, Xiaochun, and Caldeira, Ken, 2015, 'Time Scales and Ratios of Climate Forcing Due to Thermal versus Carbon Dioxide Emissions from Fuels', *Geophysical Research Letters*, vol. 42, issue 11

后记　惊奇的人和他的影子

Alexander, Stephon, 2016, *The Jazz of Physics: The Secret Link Between Music and the Structure of the Universe*, Basic Civitas Books
Augustine of Hippo, St, *c.* AD 400, *Confessions*, Penguin Classics (2002)
Beckett, Samuel, 1953, *Waiting for Godot*, Faber & Faber (2006)
Benjamin, Walter, 1940, 'On the Concept of History' in *Selected Writings*, vol. 4, Belknap Harvard (2003)
Brent Tully, R., et al., 2014, 'The Laniakea Supercluster Galaxies', *Nature*, vol. 513, issue 7516; see also *Nature* video 'Laniakea: Our Home Supercluster', 3 September 2014, https://www.youtube.com/watch?v=rENyyRwxpHo
Browne, Thomas, 1658, *Hydrotaphia, or Urne Buriall,* New York Review Books (2012)
Eliot, T. S., 1943, *Four Quartets: Little Gidding, The Poems of T. S. Eliot*, Johns Hopkins University Press (2015)
González-Jiménez, M., et al., 2016, 'Observation of Coherent Delocalized Phonon-Like Modes in DNA under Physiological Conditions', *Nature Communications*, vol. 7, article 11799
Hopkins, Gerard Manley, 1879, 'Binsey Poplars' in *Poems and Prose*, Penguin Classics (2008)
Jaspers, Karl, 1966/7, radio talk quoted in Bakewell, Sarah, *At the Existentialist Cafe*, Chatto & Windus (2016)
Jefferies, Richard, 1883, *The Story of My Heart,* http://www.gutenberg.org/ebooks/2317
Johnson, Ronald, 1967, 'What the Leaf Told Me' in *The Book of the Green Man*, Uniform Books (2015)
Krause, Bernie, 2012, *The Great Animal Orchestra*, Little, Brown
Larkin, Philip, 1962, 'Here' in *The Whitsun Weddings*, Faber & Faber
Leopold, Aldo, *c.*1940–8, *Round River: From the Journals of Aldo Leopold*, Oxford University Press (1993)

Lucretius, 56 BC, *On the Nature of Things*, Penguin Classics (2007)
Macfarlane, Robert, 2012, *The Old Ways: A Journey on Foot*, Hamish Hamilton
MacNeice, Louis, 'Entirely' in *Selected Poems*, Faber & Faber (1964)
Messiaen, Olivier, 1974, 'Les ressuscités et le chant de l'étoile Aldebaran', from *Des canyons aux étoiles . . .*, Roger Muraro, Orchestre Philharmonique de Radio France, Myung-Whun Chung, Deutsche Gramaphon (2003)
Nietzsche, Friedrich, 1880, 'The Wanderer and His Shadow', Part 3 of *Human All Too Human*, Penguin Classics (1994)
Nussbaum, Martha, 2013, *Political Emotions*, Harvard University Press
Nussbaum, Martha, 2016, *Anger and Forgiveness: Resentment, Generosity, Justice*, Oxford University Press
Parfit, Derek, 2017, *On What Matters*, vol. 3, Oxford University Press
Purdy, Jedediah, 2015, *After Nature*, Harvard University Press
Ruff, Willie, and Rogers, John, no date, *The Harmony of the Word: A Realisation for the Ear of Johannes Kepler's Astronomical Data from Harmonices Mundi 1619*, willlieruff.com
Saint-Exupéry, Antoine de, 1939, *Wind, Sand and Stars* (originally published in France as *Terre des hommes*), Penguin Classics (2000)
Schulz, Kathryn, 2017, 'When Things Go Missing', *The New Yorker*, 13 and 20 February 2017
Shriver, Lionel, 'Lionel Shriver Reads T. C. Boyle' (podcast, a reading and discussion of *Chicxulub* by T. C. Boyle), *The New Yorker* Fiction Podcast, 31 August 2015
Solnit, Rebecca, 2014, 'Coyote', *The New Yorker*, 22 December 2014
Solnit, Rebecca, 2016, *Hope in the Dark: Untold Histories, Wild Possibilities*, Canongate
Waits, Tom, 2002, 'Misery is the River of the World', *Blood Money*, ANTI-
Wheeler, John, no date, 'Quantum Ideas, Quantum Foam' (video), Web of Stories (website), https://www.webofstories.com/play/john.wheeler/77
Wittgenstein, Ludwig, 1958, *Philosophical Investigations*, Basil Blackwell